



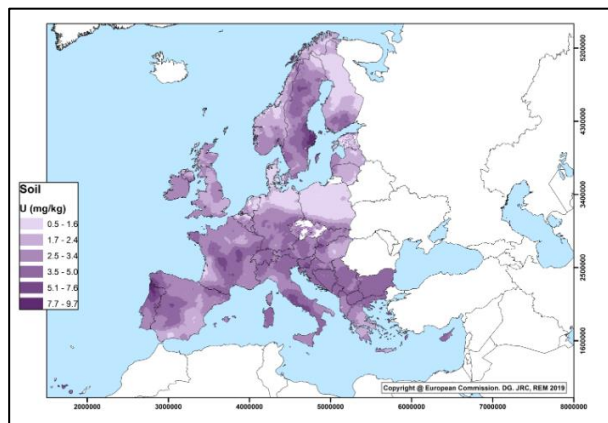
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Δ. ΛΑΔΑΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΟΥ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΚΑΙ
ΤΟΥ ΘΟΡΙΟΥ ΣΤΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΥ, ΚΟΖΑΝΗ
ΚΑΙ Η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΤΟΥΣ ΣΗΜΑΣΙΑ.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ 'ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ
ΓΕΩΛΟΓΙΑ',
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: 'ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ'

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2024





ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Δ. ΛΑΔΑΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΟΥ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ
ΘΟΡΙΟΥ ΣΤΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΥ, ΚΟΖΑΝΗ ΚΑΙ Η
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΤΟΥΣ ΣΗΜΑΣΙΑ.

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών
Σπουδών 'Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία', Κατεύθυνση 'Ορυκτοί
Πόροι-Περιβάλλον

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: XX/XX/2024

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καντηράνης Ν., Καθηγητής, Επιβλέπων
Μέλφος Β., Καθηγητής, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Παπαδοπούλου Α. Καθηγήτρια, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής



© Αναστάσιος Δ. Λαδάς, Γεωλόγος, 2024

Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΟΥ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΘΟΡΙΟΥ
ΣΤΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ, ΚΟΖΑΝΗ ΚΑΙ Η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ
ΤΟΥΣ ΣΗΜΑΣΙΑ. – *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Anastasios D. Ladas, Geologist, 2024

All rights reserved.

GEOCHEMICAL RESEARCH OF THE DISTRIBUTION OF URANIUM AND
THORIUM IN THE SOILS OF SARIGIOL BASIN, KOZANI AND THEIR
ENVIRONMENTAL SIGNIFICANCE. – *Master Thesis*

Citation:

Λαδάς Α. Δ., 2024. - Γεωχημική μελέτη της κατανομής του ουρανίου και του θορίου στα εδάφη της λεκάνης Σαριγκιόλ, Κοζάνη και η περιβαλλοντική τους σημασία. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., - σελ. 89

Ladas A. D., 2024. – Geochemical research of the distribution of uranium and thorium in the soils of Sarigiol basin, Kozani and their environmental significance. Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, -- pp. 89

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation/Digital-Atlas/Uranium-in-soil/Uranium-concentration-in-soil->

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία διερευνά την γεωχημική κατανομή των ραδιενεργών στοιχείων του ουρανίου και του θορίου στα εδάφη της λεκάνης Σαριγκιόλ, στην περιοχή της Κοζάνης όπως και την περιβαλλοντική σημασία που αυτή μπορεί να έχει. Στόχος της έρευνας αποτελεί η διερεύνηση της ανθρωπογενούς ή λιθογενούς προέλευσης των ιχνοστοιχείων αυτών στα εδάφη της περιοχής και στην συνέχεια η περιβαλλοντική σημασία τους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Καντηράνη Νικόλαο του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας για την ανάθεση του θέματος αυτού όπως και την καθοδήγηση και τις συμβουλές που μου παρείχε κατά την διαδικασία της εκπόνησης της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας μου. Θα ήθελα επίσης να εκφράσω την ευχαρίστηση μου για την υπομονή που έδειξε μαζί μου στις αμέτρητες φορές που χτύπησα την πόρτα του γραφείου του αναζητώντας την βοήθεια του.

Επιπλέον θέλω να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια. κα. Παπαδοπούλου Λαμπρινή και τον Καθηγητή κ. Μέλφο Βασίλειο, μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής για την παρούσα εργασία, για την διόρθωση της και την καθοδήγηση που μου παρείχαν κατά την διάρκεια του μεταπτυχιακού μου. Ένα επιπλέον ευχαριστώ οφείλω στον κ. Μέλφο για όλες τις μοναδικές ευκαιρίες που μου παρείχε κατά την διάρκεια της φοίτησης μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τον κ. Δημήτριο Βογιατζή, ΕΔΙΠ, για όλη την έμπρακτη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τα διαφορετικά στάδια των εργαστηριακών δοκιμών που χρειάστηκαν να γίνουν στα πλαίσια της εργασίας αυτής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ πρέπει να αφιερώσω στον Επίκουρο Καθηγητή, κ. Σακελλάρη Γρηγόριο Άαρνε όπως και στον Σπύρο Στρογγύλη, μεταπτυχιακό γεωλόγο και φίλο, για τις ανεκτίμητες συμβουλές που μου προσέφεραν κατά την διαδικασία κατασκευής των μοντέλων πρόβλεψης γεωχημικής κατανομής που δημιουργήθηκαν για τους σκοπούς αυτής της εργασίας.

Τέλος, φυσικά ένα εγκάρδιο ευχαριστώ στην οικογένεια και τους φίλους μου τόσο για την υλική αλλά και την ψυχική βοήθεια και συνεισφορά που μου προσέφεραν κατά τα χρόνια των σπουδών μου. Τους χρωστάω όλα όσα είμαι.

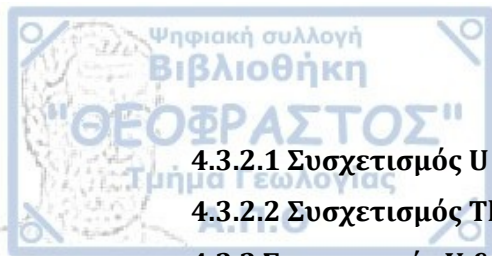
Θεσσαλονίκη, 2024

Αναστάσης Λαδάς



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 ΤΑ ΕΔΑΦΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ	10
1.2 ΤΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ	14
1.3 ΡΑΔΙΟΝΟΥΚΛΙΔΙΑ	16
1.4 ΣΚΟΠΟΣ - ΣΤΟΧΟΙ	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	18
2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	18
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ	27
3.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ.....	27
3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	28
3.2.1 Εισαγωγή	28
3.2.2 Προετοιμασία δειγμάτων	29
3.2.3 Ορυκτολογική Ανάλυση.....	29
3.2.4 Χημική Ανάλυση	30
3.2.5 Στατιστική Ανάλυση	31
3.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΧΑΡΤΩΝ - ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ	31
3.3.1 Natural Neighbor - NN.....	32
3.3.2 Inverse Distance Weighted – IDW	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	35
4.1 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	35
4.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	37
4.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ U ΚΑΙ ΤΟΥ Th.....	46
4.3.1 Συσχετισμός U & Th με ορυκτές φάσεις	47
4.3.1.1 Συσχετισμός U με ορυκτές φάσεις.....	47
4.3.1.2 Συσχετισμός Th με ορυκτές φάσεις.....	49
4.3.2 Συσχετισμός U & Th με Κύρια Στοιχεία.....	52



4.3.2.1 Συσχετισμός U με Κύρια Στοιχεία	52
4.3.2.2 Συσχετισμός Th με Κύρια Στοιχεία.....	55
4.3.3 Συσχετισμός U & Th με Ιχνοστοιχεία.....	58
4.3.3.1 Συσχετισμός U με Ιχνοστοιχεία	58
4.3.3.2 Συσχετισμός Th με Ιχνοστοιχεία.....	61
4.4 ΙΣΟΧΗΜΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	81
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: Διαγράμματα συσχετισμού μαζί με τις ακραίες τιμές.....	90
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: Λοιποί χάρτες κατανομής και μοντέλα πρόβλεψης.	101

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρά την παγκόσμια τάση για την στροφή προς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, υπάρχει ακόμα ένας μεγάλος αριθμός χωρών που βασίζονται στα συμβατικά ορυκτά καύσιμα για την ηλεκτροπαραγωγή τους. Η Ελλάδα αποτελεί μία από αυτές τις χώρες, με ένα ποσοστό έως 15% της εγχώριας παραγωγής να αποδίδεται ακόμη στην καύση λιγνίτη. Ένα από τα μεγαλύτερα λιγνιτικά αποθέματα της χώρας αποτελεί το Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας (ΛΚΔΜ), όπου και γίνεται εκμετάλλευση και συνεχής καύση του λιγνίτη με σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Η δραστηριότητα αυτή, όσο απαραίτητη και αν είναι, έχει μεγάλο περιβαλλοντικό αντίκτυπο στην ευρύτερη περιοχή στην οποία λαμβάνει χώρα, επιβαρύνοντας με τα παραπροϊόντα της καύσης (την αιωρούμενη τέφρα και την τέφρα της εσχάρας) τον αέρα, τα ύδατα και φυσικά τα εδάφη. Η λεκάνη Σαριγκιόλ στην Κοζάνη, αποτελεί μια τέτοια περιοχή, καθώς μέσα στα όρια της βρίσκεται ο Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου, η κατασκευή του οποίου έγινε το 1984 και λειτουργεί έως και σήμερα καίγοντας λιγνίτη από το ορυχείο του Νότιου Πεδίου.

Για τους σκοπούς αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας εξετάστηκαν 24 εδαφικά δείγματα από την περιοχή, με σκοπό την ανίχνευση των επιπέδων του U και του Th, καθώς και την περιβαλλοντική επιβάρυνση που αυτά μπορεί να προξενούν. Στα δείγματα έγινε ορυκτολογική ανάλυση η οποία αναγνώρισε τα κύρια ορυκτά συστατικά του εδάφους ως τον ασβεστίτη, τον χαλαζία, τον δολομίτη και τους αστρίους, ενώ ακόμα ανιχνεύτηκε και ένας αριθμός δευτερευόντων ορυκτών φάσεων όπως πυρόξενοι, αμφίβολοι κ.ά. Έγινε χημική ανάλυση που εκτός της ανίχνευσης του U και του Th, είχε ως στόχο τον υπολογισμό των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, K₂O, P₂O₅, SO₃ και Cr, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Ba και Pb. Για το κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία, υπολογίστηκε ο συντελεστής εμπλουτισμού. Το U και το Th συσχετίστηκαν με τα όλα τα παραπάνω ορυκτά και χημικά στοιχεία, όπως και δημιουργήθηκαν χάρτες γεωχημικής κατανομής και μοντέλα πρόβλεψης για τα κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν τα δύο ραδιενεργά στοιχεία έδειξαν ισχυρές συσχετίσεις με τον χαλαζία και τους αστρίους, και κατά συνέπεια με τα οξείδια SiO₂, Al₂O₃, K₂O όπως και με τα ιχνοστοιχεία Y, Zr, Zn και Pb. Ως συνέπεια τα στοιχεία αυτά παρουσιάζουν αντίστοιχη κατανομή με τα ραδιενεργά σωματίδια στα όρια της λεκάνης Σαριγκιόλ. Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν μια κυρίως ανθρωπογενή προέλευση του U και του Th στα εδάφη της λεκάνης, με συγκριτικά χαμηλές αν και υπολογίσιμες συγκεντρώσεις.

ABSTRACT

Even though the world is moving towards the use of renewable energy sources, there is still a large number of countries that rely on conventional fossil fuels for their energy production needs. Greece is one of these countries, with up to 15% of its domestic energy production coming from the burning of lignite. One of the largest coal deposits in Greece is that of the Lignite Center of Western Macedonia (LCWM), where lignite is still mined and burned for the purposes of energy production. Although this industry is essential, it does pose a significant environmental impact in the surrounding areas, as the byproducts of coal burning (flying and bottom ash), can potentially pollute the atmosphere, water and soil. The Sarigiol basin in Kozani District is an area that meets these requirements because it hosts the coal-fired power plant of Agios Dimitrios, which was constructed in 1984 and has been operating until today utilizing coal from the "South Field" coal mine.

For the purposes of this master thesis, 24 soil samples from the area were analyzed with the aim of detecting the levels of U and Th, as well as the possible environmental hazard they could pose. Mineralogical analysis was conducted on the samples which showed that the main mineral phases of the soil are calcite, quartz, dolomite and feldspar, followed by traces of pyroxenes, amphiboles etc. Chemical analysis in the soil samples detected, other than U and Th the following major and trace elements: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, K₂O, P₂O₅, SO₃ and Cr, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Ba and Pb. The enrichment factor was calculated for each of these oxides and elements. Correlation factors were estimated for both U and Th, regarding each mineral phase and element, followed by the construction of geochemical distribution maps as well as prediction models for all the major and trace elements that were detected.

The two radioactive elements present strong correlations to both quartz and feldspar, and consequently with the oxides SiO₂, Al₂O₃ and K₂O. Equally strong correlations were estimated for the following trace elements: Y, Zr, Zn and Pb. Consequently, these elements display a similar geochemical distribution to those of U and Th, within the boundaries of the Sarigiol basin. All these are evidence that the presence of U and Th in the soils of Sarigiol basin are the result of human activity in the area, and their concentrations are relatively low but not negligible

1.1 ΤΑ ΕΔΑΦΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

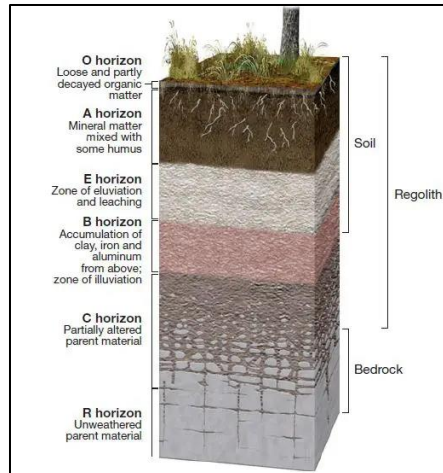
1.1.1 Εδαφογένεση

Ως έδαφος ορίζεται το ανώτερο στρώμα του φλοιού της Γης, πάνω στο οποίο μεγαλώνουν τα φυτά και συνήθως έχει πάχος 35 έως 50 cm. Τα βασικά συστατικά του εδάφους είναι ορυκτά, οργανική ύλη, νερό και αέρας, με τις μέσες συγκεντρώσεις για το καθένα να είναι κατά προσέγγιση 45% για τα ορυκτά συστατικά, 5% για την οργανική ύλη, 20-30% για το νερό και αντίστοιχα 20-30% για τον αέρα. Περίπου το 99% της παγκόσμιας κατανομής των εδαφών έχουν ως μητρικό υλικό ανόργανα υλικά, που προέρχονται από την αποσάθρωση πετρωμάτων, και μόλις το 1% από οργανικά υλικά προερχόμενα από την αποσύνθεση φυτικών οργανισμών και αποτελούνται από λάσπη ή τύρφη (Foth, 1991).

Κατά τους Millar and Turk (1947), η εδαφογένεση είναι τόσο διαδικασία καταστροφής, όσο και μια διαδικασία δημιουργίας. Οι καταστροφικές διαδικασίες είναι αυτές που αφορούν την μηχανική και χημική διάσπαση ανόργανων και οργανικών δομών, από τα προϋπάρχοντα πετρώματα και τα απομεινάρια χλωρίδας και πανίδας αντιστοίχως, ενώ οι δημιουργικές διεργασίες σχηματίζουν νέες χημικές ενώσεις, ορυκτές και οργανικές, κάθε φορά με διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες, υφές και δομή. Αξίζει να σημειωθεί ο ρόλος που παίζουν οι μικροοργανισμοί στην διαδικασία της εδαφοποίησης, οι οποίοι έχουν υπολογιστεί ότι καταλαμβάνουν μέχρι και το 20% τις συνολικής μάζας των εδαφών σε κάποιες περιπτώσεις. Οι οργανισμοί αυτοί παίζουν ενεργό ρόλο στην διαδικασία αποδόμησης της οργανικής ύλης, ζωικής και φυτικής προέλευσης, και παραγωγής νέων ενώσεων, όπως CO₂, μια διαδικασία που ονομάζουμε χουμοποίηση. Εκτός από την παραγωγή στοιχείων ή ενώσεων, οι οργανισμοί συνεισφέρουν και στην μεταφορά και κινητικότητα ήδη υπαρχόντων μερών του εδάφους, αποτελώντας έτσι κρίσιμο κομμάτι της ροής ενέργειας και του κύκλου μεταφοράς στοιχείων του εδάφους (Kabata - Pendias, 2011).

Αποτέλεσμα της εδαφοποίησης είναι ο σχηματισμός εδαφικών οριζόντων. Κύριοι εδαφικοί ορίζοντες αποτελούν οι O, A, E, B, C και R και παρουσιάζονται συνοπτικά παρά κάτω (Millar and Turk, 1947; Hartemink et al., 2020), όπως και φαίνονται στην Εικ. 1.1:

- ❖ Ορίζοντας O: αποτελεί τον ανώτερο ορίζοντα και αποτελείται κυρίως από οργανική ύλη, όπου και αποδίδεται το σκούρο χρώμα του. Το πάχος του μπορεί να ποικίλει ανάλογα τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή από μερικά εκατοστά έως και μερικά μέτρα.
- ❖ Ορίζοντας A: σχηματίζεται κάτω από τον ορίζοντα O αν και μπορεί να απουσιάζει. Η συμμετοχή ανόργανων συστατικών αυξάνεται με τα ποσοστά να διαφέρουν κατά περίπτωση. Διαφοροποιείται από τους παρακάτω ορίζοντες είτε μορφολογικά είτε επειδή παρατηρείται η επέμβαση από ανθρώπινη δραστηριότητα όπως η γεωργία.
- ❖ Ορίζοντας E: ακολουθεί τον ορίζοντα A και αποτελείται επί το πλείστο από ορυκτά συστατικά.
- ❖ Ορίζοντας B: ακολουθεί τον ορίζοντα E και αποτελεί και αυτός έναν ανόργανο ορίζοντα. Οι δομές ή οι στρώσεις του πετρώματος έχουν καταστραφεί πλήρως και ο σχηματισμός νέων ορυκτών είναι σχεδόν βέβαιος αλλά σημαντικό κομμάτι του αρχικού υλικού μπορεί να βρίσκεται ακόμα σε αυτόν.
- ❖ Ορίζοντας C: πρόκειται για έναν ανόργανο ορίζοντα που έχει υποστεί πολύ μικρή επιρροή από την εδαφογενετική διαδικασία και από τον οποίο απουσιάζουν χαρακτηριστικά των παραπάνω οριζόντων.
- ❖ Ορίζοντας R: το αρχικό ανόργανο υλικό, το μητρικό πέτρωμα, που συνήθως βρίσκεται σε βάθος $\geq$ των 2 m.

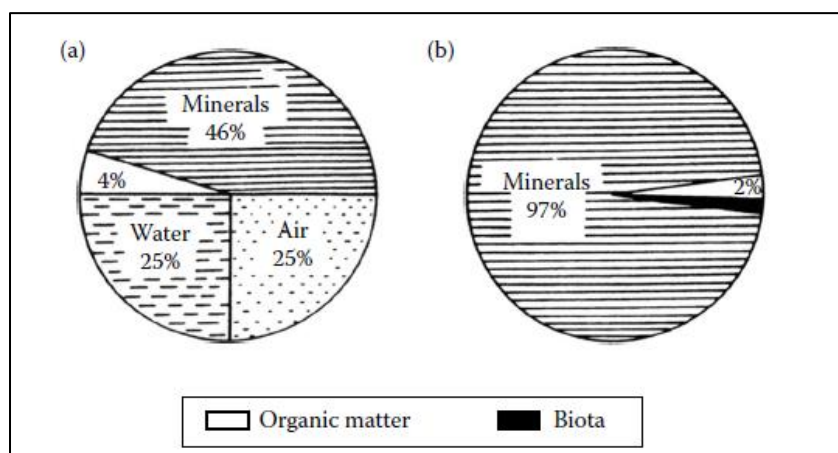


Εικόνα 1.1: Εδαφικό προφίλ και οι ορίζοντες του, digitallylearn.com/soil-profile-upsc-diagram-and-layers-geography-optional/

1.1.2 Μέση σύσταση του εδάφους

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα το έδαφος αποτελείται από διαφορετικά συστατικά σε διαφορετικά ποσοστά. Κατά τους Kabata – Pendias (2011), οι μέσες παγκόσμιες τιμές κατά όγκο για τα συστατικά του εδάφους είναι οι παρακάτω: 46% ορυκτά, 25% νερό, 25% αέρας και 4% οργανική ύλη. Αντίστοιχα, οι κατά βάρος μέσες τιμές για την στερεή μόνο φάση των εδαφών είναι 97% ορυκτά συστατικά, 2% οργανική ύλη και 1% οι ζωντανοί μικροοργανισμοί που ζούνε μέσα σε αυτό (Εικ. 1.2).

Η παγκόσμια ορυκτολογική σύσταση των εδαφών είναι η ακόλουθη, χαλαζίας με ποσοστά 45-80%, άστριοι 5-35%, διάφορα αργιλικά ορυκτά με τιμές 9-34% και τέλος οξείδια του Fe, Mn και Al με τιμές ~1% (Kabata - Pendias, 2011). Τα πρωτογενή ορυκτά που συμμετέχουν στο έδαφος μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες (Kabata - Pendias, 2011) που παρουσιάζονται με σειρά ευπάθειας προς τις διαδικασίες της αποσάθρωσης. Η πρώτη σειρά είναι αυτή των «λευκών» ή «σαλικών» (felsic) ορυκτών: Πλαγιόκλαστα > K- ή Na - άστριοι > Μοσχοβίτης > Χαλαζίας, ενώ η δεύτερη είναι η σειρά των «έγχρωμων» ή «φεμικών» (mafic) ορυκτών: Ολιβίνη > Πυρόξενοι > Αμφίβολοι > Βιοτίτης. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζουν και τα δευτερογενή ορυκτά όπως είναι ο γκαιτίτης, ο αιματίτης, ο δολομίτης, ο ασβεστίτης, η γύψος και τα αργιλικά ορυκτά (καολίνη, σμεκτίτης, ιλλίτης κ.ά.).



Εικόνα 1.2: Προσεγγιστική σύσταση των επιφανειακών εδαφών (a) του συνολικού όγκου και (b) της στερεής φάσης του εδάφους (Kabata-Pendias, 2011).

Πολύ σημαντικός παράγοντας για την σύσταση των εδαφών αποτελεί και η περιεκτικότητα των ιχνοστοιχείων τους. Το κυρίαρχο ιχνοστοιχείο των εδαφών είναι το Ti με 7038 ppm και ακολουθούν τα Mn με 488 ppm, Ba με 460 ppm, Cl με 300 ppm, F με 321 ppm, Zr με 267 ppm, το Sr με 175 ppm, το V με 129 ppm, ο Zn με 70 ppm και το Rb με 68 ppm (Kabata-Pendias, 2011). Παρακάτω, παρουσιάζεται ο Πίνακας 1.1 με τις παγκόσμιες μέσες τιμές όλων των ιχνοστοιχείων στα εδάφη. Τέλος, δύο ακόμα πολύ σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους είναι η ενεργός οξύτητα ή pH και το κανονικό δυναμικό οξειδοαναγωγής ή Eh, με το πρώτο να κυμαίνεται μεταξύ 4-14, αναλόγως το διαθέσιμο οξυγόνο, και το δεύτερο από <350 - 750 mV, ανάλογα αν οι συνθήκες είναι αναερόβιες ή οξειδωτικές (Kabata-Pendias, 2011).

Πίνακας 1.1: Μέσες παγκόσμιες συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων στα εδάφη (mg/kg) (Kabata-Pendias, 2011).

Antimony	0.67	Copper	38.9	Iridium	–	Platinum	0.02	Terbium	0.63
Arsenic	6.83	Dysprosium	3.6	Lanthanum	27	Praseodymium	7	Thallium	0.5
Barium	460	Erbium	2.2	Lead	27	Rhenium	–	Thorium	9.2
Beryllium	1.34	Europium	1.4	Lithium	21	Rhodium	–	Thulium	0.37
Bismuth	0.42	Fluorine	321	Lutetium	0.37	Rubidium	68	Tin	2.5
Boron	42	Gadolinium	3.9	Manganese	488	Ruthenium	–	Titanium	7038
Bromine	10	Gallium	15.2	Mercury	0.07	Samarium	4.6	Tungsten	1.7
Cadmium	0.41	Germanium	2.0	Molybdenum	1.1	Scandium	11.7	Uranium	3.0
Cerium	56.7	Gold	0.003	Neodymium	26	Selenium	0.44	Vanadium	129
Cesium	5.06	Hafnium	6.4	Nickel	29	Silver	0.13	Ytterbium	2.6
Chlorine	300	Holmium	0.72	Niobium	12	Strontium	175	Yttrium	23
Chromium	59.5	Indium	0.06	Osmium	–	Tantalum	1.39	Zinc	70
Cobalt	11.3	Iodine	2.8	Palladium	0.02	Tellurium	–	Zirconium	267

1.1.3 Εδαφική ρύπανση

Δύο είναι οι όροι που χρησιμοποιούνται όταν κανείς αναφέρεται στην περιβαλλοντική επιφόρτιση που μπορεί να δέχεται το έδαφος μιας περιοχής, αυτός της «εδαφικής επιβάρυνσης» και αυτός της «εδαφικής ρύπανσης», ο οποίος ορίζονται παρακάτω. Κατά τον Knox (1999), ως εδαφική επιβάρυνση (soil contamination) ορίζεται η διαφορετική χημική κατάσταση που βρίσκεται ένα έδαφος όταν αυτή παρεκκλίνει από τις μέσες τιμές (π.χ. αυξημένη ή μειωμένη συγκέντρωση ενός ιχνοστοιχείου) αλλά δεν επηρεάζει αρνητικά τους γύρω οργανισμούς. Η εδαφική επιβάρυνση έχει συνήθως φυσική προέλευση. Εδαφική ρύπανση (soil pollution) προκύπτει όταν οι παρεκκλίνουσες τιμές προέρχονται από ανθρωπογενή δραστηριότητα και προκαλούν κάποιου είδους βλάβη στους οργανισμούς. (Knox et al, 1999). Εν κατακλείδι, ρύπανση θεωρείται πως υπάρχει αν ξεπεραστεί ένα όριο, π.χ. μια συγκέντρωση, και αρχίσει να έχει αρνητικές επιδράσεις στις βιολογικές διεργασίες.

Ανθρωπογενής επιβάρυνση στο περιβάλλον, τουλάχιστον όσον αφορά την παρουσία ιχνοστοιχείων, έχει παρατηρηθεί από τον εποχή που ο άνθρωπος ξεκίνησε την χρήση και επεξεργασία μετάλλων. Κάθε όμως σημαντικό βήμα στην εξέλιξη ενός πολιτισμού αφήνει το στίγμα του στα εδάφη τα οποία τον περιβάλλουν, όπως σημειώνει ο Ernst (1998) στην μελέτη του πάνω σε εδάφη που σχετίζονται με τους ανθρώπους από την εποχή του Χαλκού και ύστερα. Η παρουσία ρύπων στο έδαφος φαίνεται να είναι πολύ πιο μακροπρόθεσμη απ' ό,τι σε άλλα στοιχεία της βιόσφαιρας (Kabata-Pendias, 2011). Σύμφωνα με μελέτη των Iimura et al. (1977) σε εδάφη η περίοδος ημιζωής διαφέρει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα το παρατηρούμενο ιχνοστοιχείο: για τον Zn 70 - 510 χρόνια, για το Cd 75 - 380 χρόνια, για τον Hg 500 - 1000 χρόνια, ενώ για τα Ag, Cu, Ni, Pb, Se μεταξύ 1000 και 3000 χρόνια.

Η ανάπτυξη της βιομηχανίας και της γεωργίας έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στην συνεχή επιβάρυνση των εδαφών σε παγκόσμια κλίμακα. Στοιχεία όπως τα As, Sn, Cd Pb και Hg αποτελούν κάποιους από τους συχνότερους ρυπαντές που θέτουν σε κίνδυνο και την ανθρώπινη υγεία, ενώ πρόσφατα στην λίστα έχουν προστεθεί και τα στοιχεία Sb, Ni και F (Kabata-Pendias, 2011). Πέραν όμως των ανόργανων ρύπων και οι οργανικοί ρύποι πλέον θεωρούνται πως παρουσιάζουν σοβαρό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία ακόμα και σε πολύ μικρές περιπτώσεις. Παραδείγματα αυτών αποτελούν οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (polycyclic aromatic hydrocarbons - PAHs) και τα πολυχλωριωμένα διαφαινύλια (polychlorinated biphenils - PCBs), ρύποι που ανιχνεύονται δύσκολα λόγω των πολύ μικρών συγκεντρώσεων τους στα εδάφη και ιζήματα στα οποία μπορεί να περιέχονται, αλλά και επειδή απομακρύνονται από τα δείγματα εύκολα λόγω της πτητικότητας τους (Σιαβάλας, 2013).

Η περιβαλλοντική ρύπανση είναι συνυφασμένη με την ανθρωπογενή δραστηριότητα, γι' αυτό και αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα σήμερα. Στην περίπτωση ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού, καθ' όλη την διαδικασία της ηλεκτροπαραγωγής, από την αρχική εκμετάλλευση του κοιτάσματος άνθρακα μέχρι την τελική καύση του, παράγονται αέριοι και εδαφικοί ρύποι. Το ίδιο μπορεί να ειπωθεί και για την εκμετάλλευση μεταλλευμάτων, ορυκτών πρώτων υλών και ενεργειακών πρώτων υλών αν αυτή δεν γίνει με ορθές περιβαλλοντικές πρακτικές. Τα αστικά και βιομηχανικά λύματα αποτελούν σημαντικό παράγοντα ρύπανσης, καθώς η παράνομη ταφή ή καύση αυτών επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον, φαινόμενο που στην Ελλάδα έχει μια μακρά ιστορία. Αλλά και απλές καθημερινές δραστηριότητες παίζουν ρόλο για το που γέρνει το «περιβαλλοντικό ισοζύγιο». Η γεωργική δραστηριότητα έχει κατηγορηθεί πως επιβαρύνει το έδαφος, ιδίως με την αλόγιστη χρήση μη εγκεκριμένων λιπασμάτων και εντομοκτόνων. Με το πέρασμα του χρόνου νέοι παράγοντες εμφανίζονται στο προσκήνιο, με τα πλαστικά και μικροπλαστικά να αποτελούν την τελευταία προσθήκη στο κεφάλαιο της εδαφικής και γενικότερης ρύπανσης (Hore et al., 2024).

1.2 ΤΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ

1.2.1 Λιθολογική και χημική σύσταση των εδαφών της Κοζάνης

Όπως είναι αναμενόμενο τα εδάφη στην περιοχή της Κοζάνης φέρουν στην μάζα τους μικροτεμάχια από την διάβρωση των περιβαλλόντων πετρωμάτων όπως ανθρακικά πετρώματα, οφιόλιθους, μεταμορφωμένα σχιστολιθικά πετρώματα και φλύσχη. Τα εδάφη της περιοχής έχουν χαρακτηριστεί ως αλκαλικά με αυξημένες τιμές για το pH τους, γεγονός που αποδίδεται στην έντονη παρουσία CaCO_3 των ανθρακικών πετρωμάτων (Stalikas et al, 1997), αλλά και των συστατικών των υπερβασικών πετρωμάτων.

Σύμφωνα με έρευνα που διεξήγαγαν οι Petrotou et al. (2010), το αφθονότερο κύριο στοιχείο στα εδάφη της Πτολεμαΐδας αποτελεί το Ca με μέση συγκέντρωση τα 81.1 g/kg, και ακολουθούν με φθίνουσα σειρά τα Al, Fe, Mg, K, Na, Ti και Mn (Εικ. 1.3). Το ιχνοστοιχείο με την μεγαλύτερη συγκέντρωση αποτελεί το Cr με 345.8 ppm και ακολουθούν τα Ba, Ni και Sr, η παρουσία των οποίων αποδίδεται σε σημαντικό βαθμό στα οφιολιθικά πετρώματα (Cr, Ni) που βρίσκονται στην περιοχή (Petrotou et al. 2010).

Element (g kg ⁻¹)	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ti
average	60.6	81.1	52.3	13.3	23.8	1.0	4.7	3.2
minimum	34.7	10.0	26.9	5.8	9.4	0.4	0.8	1.4
maximum	84.2	205.4	79.0	22.2	93.4	1.7	10.6	4.6
std deviation	13.9	53.2	12.2	3.4	17.2	0.3	2.0	0.8
Element (mg kg ⁻¹)	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mo
average	15.1	301.7	0.5	21.9	345.8	36.9	40.1	0.7
minimum	6.5	183.9	0.2	10.2	127.0	19.2	12.5	0.4
maximum	44.2	467.7	0.9	59.8	1501.8	226.8	70.9	1.0
std deviation	8.4	75.4	0.2	8.6	221.9	32.3	11.9	0.2
Element (mg kg ⁻¹)	Ni	Pb	Sb	Sr	V	Y	Zn	
average	286.8	17.2	0.7	104.7	87.5	23.5	80.0	
minimum	85.4	4.3	0.1	42.8	48.7	12.4	52.9	
maximum	1075.3	79.0	2.1	233.0	120.9	35.9	112.9	
std deviation	173.8	12.6	0.4	35.3	19.3	6.7	16.0	

Εικόνα 1.3: Περιγραφική στατιστική για τα κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία στα εδάφη της Πτολεμαΐδας, (Petrotou et al., 2010).

1.2.2 Πηγές ρύπανσης στην περιοχή της Κοζάνης

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, οι δύο παράγοντες που μπορούν να διαφοροποιήσουν τις φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών είναι οι φυσικές διεργασίες και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η λιγνιτοφόρος περιοχή της λεκάνης Κοζάνης – Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου φιλοξενεί τα μεγαλύτερα λιγνιτικά αποθέματα της Ελλάδας (Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας), με αποτέλεσμα στην περιοχή επί σειρά δεκαετιών να γίνεται η εξόρυξη, απόθεση και ακόλουθη καύση του λιγνίτη. Ιδιαίτερα η καύση αποτελεί ίσως την πιο επιβαρυντική διεργασία, καθώς μέσω αυτής τα βλαβερά κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία που βρίσκονται στον λιγνίτη, εμπλουτίζονται στα καυσαέρια και την αιωρούμενη τέφρα και διασπείρονται έτσι στην ευρύτερη περιοχή (Kassolini - Fournaraki et al., 1993; Σαχανίδης κ.ά., 2001).

Η καύση του λιγνίτη έχει ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων που περιέχονται σε αυτόν, στα προϊόντα της διεργασίας αυτής, στην ιπτάμενη τέφρα (fly ash) και την τέφρα εσχάρας (bottom ash). Η έκλυση των επιβλαβών στοιχείων από τα δύο αυτά στερεά απόβλητα είναι που αποτελεί σοβαρό περιβαλλοντικό κίνδυνο. Η περιοχή της Κοζάνης - Πτολεμαΐδας έχει αποτελέσει κέντρο για διάφορες περιβαλλοντικές μελέτες με τα αποτελέσματα κάποιων από αυτών να παρουσιάζονται παρακάτω.

Το Cr και το Ni, έχουν θεωρηθεί ότι προέρχονται από τα οφιολιθικά πετρώματα τα οποία βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή (Petrotou et al., 2012) και σε

μεταγενέστερη μελέτη, ειδικότερα για την λεκάνη Σαριγκιόλ η συσχέτιση του Cr - Ni δεν φάνηκε επαρκώς υψηλή για να χαρακτηριστεί ως φυσικής προέλευσης ρύπος, αλλά ανθρωπογενής, εξαιτίας της διασποράς και διαχείρισης της ιπτάμενης τέφρας (Καντηράνης κ.ά., 2016; Kazakis et al., 2017, 2018). Τα στοιχεία P, Cu, Cd, Pb και Zn παρουσιάζουν ελαφρώς αυξημένες συγκεντρώσεις και θεωρήθηκαν κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης, από την καύση του λιγνίτη συνδυαστικά με τις γεωργικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή (Petrotou et al., 2012). Τέλος, σύμφωνα με μελέτη των Georgakopoulos et al. (2002) για την δυνατότητα έκπλυσης των ιχνοστοιχείων από τις τέφρες της περιοχής, λίγα ιχνοστοιχεία παρουσιάζουν υψηλό βαθμό έκπλυσης στις αιωρούμενες τέφρες των Α.Η.Σ. στην περιοχή, αλλά πιθανές περιβαλλοντικές ανησυχίες μπορούν να προκύψουν από τον μεγάλο όγκο τέφρας που παράγεται. Τα στοιχεία με υψηλή κινητικότητα (S, Ca, Br, I, Mo και Sr) μαζί με τα στοιχεία ενδιάμεσης κινητικότητας (K, Na, Ti, B, Ba, Cd, Cr, Cs, Li, Rb, Sb, Se, Sn, W και Zn) μπορούν να αποτελέσουν πιθανούς περιβαλλοντικούς κινδύνους. Τα στοιχεία με χαμηλή κινητικότητα (Si, Al, Fe, Mg, Ag, As, Be, Bi, Ce, Co, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, Ho, La, Lu, Mn, Nb, Nd, Ni, Pb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U, V, Y, Yb και Zr) δείχνουν να αποτελούν μικρότερο περιβαλλοντικό κίνδυνο. Τα στοιχεία υψηλής κινητικότητας έχουν την τάση να σχετίζονται με σουλφίδια, οξείδια και αργιλοπυριτικά ορυκτά. Αυτά σχηματίζονται μετά την καύση του λιγνίτη κατά την δίοδο των καπναερίων στα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Τα στοιχεία χαμηλής κινητικότητας δείχνουν να σχετίζονται με αργιλοπυριτικά ορυκτά και οξείδια που σχηματίζονται σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα ορυκτά αυτά θεωρούνται ιδιαίτερα σταθερά σε περιβαλλοντικές θερμοκρασίες (Georgakopoulos et al., 2002).

1.3 ΡΑΔΙΟΝΟΥΚΛΙΔΙΑ

Ως ραδιονουκλίδιο ή ραδιενεργό ισότοπο, ορίζεται κάθε ισότοπο ενός χημικού στοιχείου που χαρακτηρίζεται από περίσσεια νετρονίων, έναντι της σταθερής του μορφής, καθιστώντας το έτσι ασταθές (εν δυνάμει κάθε στοιχείο μπορεί να έχει ραδιενεργά ισότοπα). Η παραπάνω ενέργεια που έχει ένα τέτοιο σωματίδιο είτε αποβάλλεται από αυτό με την μορφή ακτίνων γ, είτε μεταφέρεται σε ένα από τα ηλεκτρόνια του με αποτέλεσμα την απόδραση του από το άτομο (conversion electron), είτε με την αποβολή ενός σωματιδίου α ή β από τον πυρήνα του στοιχείου. Οποιαδήποτε από αυτές τις διεργασίες και αν συμβεί, το ραδιενεργό σωματίδιο υφίσταται «ραδιενεργή διάσπαση», άρα την εκπομπή ιονίζουσας ακτινοβολίας. Με το πέρας της ραδιενεργής διάσπασης είτε παράγεται ένα σταθερό σωματίδιο είτε ένα ακόμα ασταθές με αποτέλεσμα την επανάληψη της διαδικασίας. Ως περίοδος ημιζωής ενός ραδιενεργού σωματιδίου ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται για να μετατραπούν τα μισά άτομα μιας ραδιενεργής ουσίας σε κάποιο άλλο στοιχείο, ραδιενεργό ή όχι.

Τα ραδιονουκλίδια είναι φυσικά εμφανιζόμενα σωματίδια, 32 εκ των οποίων ονομάζονται πρωτογενή ραδιονουκλίδια και θεωρούνται πως σχηματίστηκαν πριν ακόμα από την δημιουργία της γης λόγω της μεγάλης περιόδου ημιζωής τους (^{128}Te , ^{124}Xe , ^{78}Kr κ.ά.) ενώ άλλα 60 τουλάχιστον παρατηρούνται στην φύση. Ραδιενεργά στοιχεία βρίσκονται και στον λιγνίτη σε διαφορετικές συγκεντρώσεις και ποσότητες ανάλογα με το εκάστοτε κοίτασμα. Κάποια από τα κυριότερα ραδιονουκλίδια που βρίσκονται στους Ελληνικούς λιγνίτες αποτελούν το ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra και ^{40}K , ενώ στα εδάφη γύρω από περιοχές όπου γίνεται καύση λιγνίτη έχουν μετρηθεί τα ίδια στοιχεία με επιπλέον την προσθήκη του ^{137}Cs (Ganatsios et al., 2001; Papastefanou, 2008).

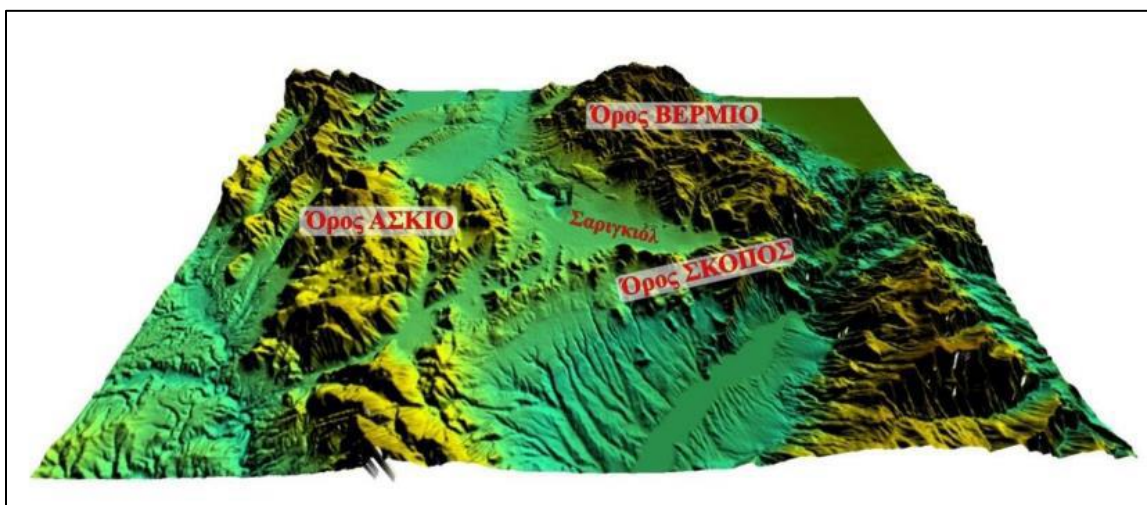
1.4 ΣΚΟΠΟΣ - ΣΤΟΧΟΙ

Στόχος της παρούσας διατριβής αποτελεί η καταγραφή της κατανομής της ρύπανσης από ιχνοστοιχεία των εδαφών της λεκάνης Σαριγκιόλ στην περιοχή της Κοζάνης, με επίκεντρο τα στοιχεία του U και του Th. Σκοπός της μελέτης είναι να αξιολογηθεί η πιθανή περιβαλλοντική επιβάρυνση από αυτά τα στοιχεία όπως και να αξιολογηθεί η πηγή προέλευσης τους. Για να επιτευχθεί αυτό, πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική και χημική μελέτη σε εδαφικά δείγματα και ακόλουθη δημιουργία χαρτών γεωχημικής κατανομής ώστε να αξιολογηθεί κατά πόσο η λιθολογία της περιοχής ή η ανθρωπογενής δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα σε αυτή, ειδικότερα η παρουσία των ατμοηλεκτρικών σταθμών (Α.Η.Σ.) «Αγίου Δημητρίου» και «Καρδίας», παίζουν τον μεγαλύτερο ρόλο στην σημερινή σημαντικά επιβαρυνόμενη περιβαλλοντική κατάσταση της λεκάνης Σαριγκιόλ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η υπό μελέτη περιοχή τοποθετείται στη Βόρεια Ελλάδα, βρίσκεται στην περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας, στο Νομό Κοζάνης και περιλαμβάνει κομμάτι της λεκάνης Σαριγκιόλ, με τα γεωμετρικά της στοιχεία να είναι 83,4 km² για την επιφάνεια της και 39,5 km για την περίμετρο της. Η περιοχή μελέτης περιβάλλεται από τα χωριά και τους οικισμούς Άγιος Δημήτριος, Ακρινή, Κλείτος, Ποντοκώμη, Μαυροδένδρι, Κοίλα, Δρέπανο, Θυμάρια, Ανατολικό, Βοσκοχώρι και Τετράλοφος. Μέσα στην περιοχή μελέτης, στο ανατολικό κομμάτι της λεκάνης, βρίσκεται ο Α.Η.Σ. «Αγίου Δημητρίου», ενώ σε μικρή απόσταση, βορειότερα της περιοχής μελέτης βρίσκεται ο Α.Η.Σ. «Καρδιάς». Στην περιοχή βρίσκεται και ένας ταινιόδρομος μεταφοράς τέφρας, γνωστός και ως Α9, με σκοπό την απόθεσή της στην περιοχή της Ακρινής. Το υψόμετρο της ευρύτερης περιοχής κυμαίνεται μεταξύ των 624 και των 1704 μέτρων, ενώ το μέσω υψόμετρο της περιοχής είναι τα 927 μέτρα με μέση κλίση αυτής 17.8% (Καντηράνης κ.ά., 2016; Kazakis et al, 2017; Kazakis et al 2018). Το κλίμα της περιοχής μπορεί να χαρακτηριστεί ως τυπικό μεσογειακό με μέση ετήσια θερμοκρασία 13°C, μέση ετήσια βροχόπτωση τα 640 mm και ανέμους με κύρια διεύθυνση NNA (Καντηράνης κ.ά., 2016).



Εικόνα 2.1: Τρισδιάστατη απεικόνιση της μορφολογίας της ευρύτερης περιοχής (Καντηράνης κ.ά. 2016).

Η λεκάνη Σαριγκιόλ, το όνομα της οποίας στα Τούρκικα σημαίνει Κίτρινη Λίμνη (Sari Göl), οφείλει το όνομα της σε ένα πλέον αποξηραμένο έλος για το οποίο λέγεται ότι το θειάφι από τα κοιτάσματα λιγνίτη, μέσω διήθησης, κατέληγε στα νερά της λίμνης και απέδιδε σε αυτήν ένα κίτρινο χρώμα. Η συνολική έκταση της λεκάνης σήμερα είναι 470 km² και αποτελεί υπολεκάνη του νότιου τμήματος της λεκάνης της Πτολεμαΐδας. Στο χώρο της λεκάνης και αντίστοιχα και στην περιοχή μελέτης,

παρουσιάζεται έντονη αγροτική δραστηριότητα συνδυαστικά με την βιομηχανική (λειτουργία των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής). Η λεκάνη οριοθετείται από τα όρη Ασκίο (2110 μέτρα), Σκοπός (1256 μέτρα) και Βέρμιο (2502 μέτρα) στο δυτικό, νότιο και ανατολικό της όριο αντιστοίχως, ενώ το βόρειο τμήμα της επικοινωνεί με την ευρύτερη λεκάνη της Πτολεμαΐδας (Εικ. 2.1).

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

Η λεκάνη Σαριγκιόλ αποτελεί μέρος του νότιου τμήματος της ενδοηπειρωτικής λεκάνης Φλώρινας-Κοζάνης-Πτολεμαΐδας-Σερβίων-Ελασσόνας. Πρόκειται για μια επιμήκη Νογενή λεκάνη η οποία ξεκινάει από το Μοναστήρι (Bitola) της σημερινής Βόρειας Μακεδονίας και περνώντας μέσω της Φλώρινας, του Αμυνταίου και της Πτολεμαΐδας φτάνει μέχρι την Κοζάνη (Παυλίδης, 1985).

Το μήκος της λεκάνης ξεπερνά τα 100 km (από Μοναστήρι μέχρι την Κοζάνη) και το μέσο πλάτος της είναι τα 15 km. Το μέσο απόλυτο υψόμετρο της αγγίζει τα 600 m και η διεύθυνση της είναι ΒΒΔ-ΝΝΑ, παράλληλη δηλαδή με αυτή των Ελληνίδων οροσειρών (Παυλίδης, 1985).

2.2.2 Θέση στο Ελληνικό Ορογενές

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται γεωτεκτονικά στην Πελαγονική Ζώνη. Έχει διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και εκτείνεται από τις χώρες τις πρώην Γιουγκοσλαβίας προς τους Ελληνικούς ορεινούς όγκους του Βόρα, του Βέρνου, του Βερμίου, των Πιερίων, του Ολύμπου, του Πηλίου και της Βόρειας Εύβοιας, καταλαμβάνοντας και τις Σποράδες (Μουντράκης, 2020).

Απαρτίζεται από το μεταμορφωμένο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο ηλικίας Παλαιοζωικού αποτελούμενο από όρθο- και πάρα-γνεύσιους, σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, γρανίτες και μεταϊζήματα. Στην συνέχεια ακολουθούν ανθρακικά πετρώματα Μεσοζωικής ηλικίας, επωθημένα οφιολιθικά καλύμματα, ακολουθούμενα από φλύσχη Άνω Μαιστριχτίου και τέλος νεότερα ανθρακικά και κλαστικά ιζήματα (Μουντράκης, 2020). Τα ανθρακικά πετρώματα του Μεσοζωικού χαρακτηρίζονται ως νηριτικά (σχηματισμός σε βάθος έως 200 μέτρα) με μοναδικές εξαιρέσεις μια θέση στην Βόρεια Εύβοια, και μια θέση στην Κοζάνη, κοντά στην περιοχή μελέτης, όπου χαρακτηρίζονται πελαγικά (σχηματισμός σε βάθος που ξεπερνούν τα 200 μέτρα).

2.2.3 Λιθοστρωματογραφικά Χαρακτηριστικά

Παρακάτω ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση των σχηματισμών της περιοχής μελέτης με βάση τους γεωλογικούς χάρτες του ΕΑΓΜΕ (πρώην ΙΓΜΕ) από τα φύλλα Κοζάνη και Βελβεντός, συνοδευόμενα από την Εικ. 2.2:

1. Ολόκαινο (Μεταβούρμιο)

- ❖ Σύγχρονες προσχώσεις και ελουβιακός μανδύας (al): άμμοι, άργιλοι και χαλίκια σε κοίτες ποταμών και ρεμάτων που σχηματίζουν χαμηλή αναβαθμίδα.
- ❖ Σύγχρονες λιμναίες αποθέσεις (H.lk): αμμούχες, ασβεστούχες και κατά θέσεις ελαφρώς χουμώδεις άργιλοι στο νότιο τμήμα της λεκάνης της Πτολεμαΐδας (αποξηραμένο έλος Σαριγκιόλ).
- ❖ Σύγχρονοι κώνοι κορημάτων (H.cs): Χαλίκια, κροκάλες και λεπτομερές υλικό ανάμεσα στα χωρία Αγ. Δημήτριος και Τετράλοφος.

2. Ανώτατο Πλειστόκαινο (Βούρμιο)

- ❖ Συσσώρευση διαφόρων τύπων χονδροκλαστικών ιζημάτων (PtIV.sc): κάλυμμα πλευρικών κορημάτων σε μεμονωμένες εμφανίσεις που καλύπτει τις ασβεστολιθικές πλαγιές των βουνών. Αποτελείται από γωνιώδη θραύσματα εγκλεισμένα μέσα σε κλαστική καστανοκίτρινη θεμελιώδη μάζα που μεταπίπτει σε σύστημα κώνων κορημάτων προς το κέντρο της λεκάνης.
- ❖ Κατώτερη αναβαθμίδα (PtIV.t): κλαστικό επικάλυμμα πάχους 10-15m. Στην βάση αναπτύσσεται ορίζοντας με μεγάλες ασβεστολιθικές κροκάλες και στα ανώτερα τμήματά του παρατηρείται ορίζοντας ασβεστιτικού ερυθροπηλού με λεπτές ενστρώσεις από μικρές αποστρογγυλεμένες κροκάλες.

3. Ανώτερο Πλειστόκαινο (Ρίσσιο)

- ❖ Ριπιδοειδείς κώνοι και ελλουβιακά πεδία υπώρειων με υλικά ελαφρά συγκολλημένα (PtIII,cj): αποτελούμενο επιφανειακά από καστανόχρωμο έδαφος με σκελετικά υπολείμματα και απουσία εμφανούς εξαλλοίωσης. Η κύρια μάζα αποτελείται από ατελή και ασυνεχή συγκόλληση συστατικών.

4. Μέσο Πλειστόκαινο (Μινδέλιο)

- ❖ Λατυποπαγείς κώνοι (PtII.sc): Σχηματισμός από παλαιά λατυποπαγή με συνύπαρξη ερυθρών αργίλων και θραυσμάτων κυρίως ασβεστιτικών πετρωμάτων. Η κυρίως μάζα υψηλής συνεκτικότητας αποτελείται από ερυθρές αργίλους, μέσα στις οποίες παρεμβάλλονται φακοειδείς ενστρώσεις αδρόκοκκων κροκαλοπαγών. Προς το νότιο τμήμα της λεκάνης Πτολεμαΐδας το πάχος ελαττώνεται προοδευτικά και το υλικό γίνεται περισσότερο αργιλο-αμμώδες.

5. Κατώτερο Πλειστόκαινο (Βιλλαφράγκιο)

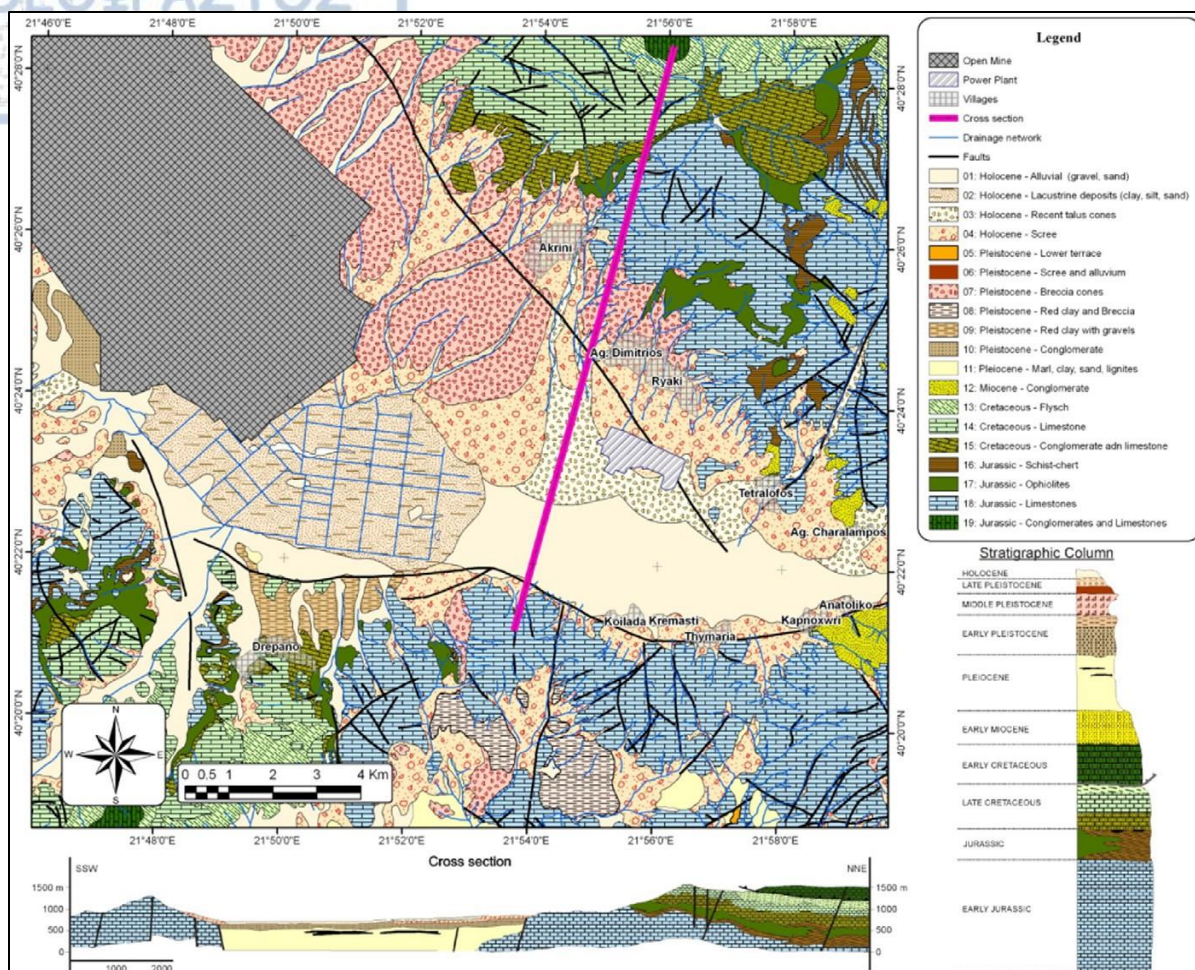
- ❖ Ερυθρές άργιλοι με λατυποπαγή και χαλίκια (Pt1.l-br): Λατυποπαγή από κομμάτια μαρμάρου διευθετημένα σε σχεδόν παράλληλα στρώματα με ασβεστολιθική συνδετική ύλη. Ερυθρές άργιλοι επικρατούν προς την βάση του σχηματισμού και γίνονται πιο συμπαγείς στα βαθύτερα τμήματά του. Περιέχουν διάσπαρτες λατύπες και συγκεντρώσεις ασβεστολιθικού υλικού σε μορφή συγκριμάτων. Στο ΝΔ τμήμα της λεκάνης παρατηρούνται εμφανίσεις χαλικιών μαζί με κομμάτια χαλαζία, ραδιολαριτών, βασικών πετρωμάτων κ.α.
- ❖ Κροκαλοπαγή «Προαστίου» (Pt1.c): Ποτάμιες αποθέσεις μεγάλου πάχους από πολυγενετικά κροκαλοπαγή με κροκάλες από γάββρο, διαβάση, πηγματίτες, ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους, ραδιολαρίτες κλπ., αρκετά αποστρογγυλεμένες. Το χρώμα τους είναι τεφρό, έχουν διασταυρούμενη στρώση και επικάθονται ασύμφωνα πάνω στις νεογενείς αποθέσεις.

6. Μέσο - Ανώτερο Πλειόκαινο

- ❖ Μάργες, άργιλοι, άμμοι, λιγνίτες (Plm-s): Άργιλοι και αργιλούχες μάργες που εξελίσσονται προοδευτικά σε ανοιχτόχρωμες χαλαρές αργιλομαργαϊκές άμμους με διασταυρούμενη στρώση και με λεπτά φακοειδή στρώματα από χαλαρά κροκαλοπαγή. Χωρίζεται σε 3 ορίζοντες, τον κατώτερο με κροκαλοπαγή με οφιολιθικές κροκάλες και ερυθρές αργίλους, τον μεσαίο με λεπτοκλαστικά και βιοχημικά ιζήματα (σε αυτόν περιέχονται τα λιγνιτοφόρα στρώματα) και τον ανώτερο ορίζοντα αποτελούμενο από εναλλαγές λευκών μαργών και μαργαϊκών ασβεστόλιθων.

7. Κατώτερο Μειόκαινο

- ❖ Κροκαλοπαγή και λατυποπαγή (Mi): Κλαστικός σχηματισμός αποτελούμενος από ασβεστολιθικά λατυποπαγή πολύ μεγάλης συνεκτικότητας και από κροκαλοπαγή με πολύ μεγάλες κροκάλες από κρυσταλλικά πετρώματα. Αντιστοιχούν σε παλιές προσχώσεις χειμάρρων με πιθανή κατεύθυνση ροής από Νότο (Πιέρια όρη) προς Βορρά.



Εικόνα 2.2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (Kazakis et al., 2017, τροποποιημένη από Ι.Γ.Μ.Ε., 1980).

Πελαγονική Ζώνη

8. Μέσο - Ανώτερο Κρητιδικό

- ❖ **Φλύσχης (Fg):** Χαρακτηρίζεται ως γενικά χονδροκλαστικός σχηματισμός χωρίς εκπεφρασμένη κυκλοθερμική ανάπτυξη. Στη βάση του εντοπίζονται μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι μεταβάσεως προς την υποκείμενη ανθρακική σειρά. Προς τα πάνω εντοπίζονται στρώματα ψαμμιτών και κροκαλοπαγών με κροκάλες από μεταμορφωμένα πετρώματα, και σπάνια φακοί ασβεστόλιθων. Ηλικίας Μαιστριχτίου και πάχους 50-200m.
- ❖ **Επικλυσιογενής ανθρακική σειρά - Ασβεστόλιθοι νηριτικής φάσεως (Ksk):** Σημαντικές παραλλαγές στην ιζηματογένεση από θέση σε θέση (ηλικία επικλύσεως, όγκος κλαστικών υλικών κ.ά.). Η επίκληση φαίνεται να περιορίζεται σε μια εγκάρσια «διάλυση» που πλαισιωνόταν από νότο και βορρά από ορεινούς όγκους. Οι ασβεστόλιθοι είναι χαρακτηριστικά

παράκτιοι και δείχνουν μικρό βάθος. Έχουν ποικιλία χρωμάτων, λεπτό- έως και παχυστρωματώδεις με *Orbitoides*, *Lithothamnium* και θραύσματα Ρουδιστών. Στο Βέρμιο συναντώνται προς την βάση σκοτεινότεφροι πλακώδεις ασβεστόλιθοι - ενίοτε ανακρυσταλλωμένοι - που μεταβαίνουν προς τα πάνω σε συμπαγείς ασβεστόλιθους με θραύσματα Ρουδιστών. Ακολουθούν ασβεστόλιθοι με πολλά ίχνη Γαστερόποδων και η σειρά κλείνει με λεπτοκλαστικούς, πλακώδεις, τεφρού χρώματος ασβεστόλιθους με φακοειδείς ενστρώσεις ψαμμιτών και αργιλικών σχιστολίθων. Ηλικίας Τουρώνιο - Μαιστρίχτιο, πάχους 200 - 250 m.

- ❖ Κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι βασικής σειράς επικλύσεως (Ks,c): Κροκαλοπαγή βάσης με ερυθρωπό ή ιώδες χρώμα και συνήθως πολύμεικτο συνδετικό υλικό κυρίως με οφιολιθικές ή ασβεστολιθικές κροκάλες. Ασβεστόλιθοι κλαστικοί, λεπτοπλακώδεις με τεφροπράσινο χρώμα ή κονδυλώδεις σκουρόχρωμοι με ίχνη Γαστερόποδων ή μαργαϊκοί κιτρινόχρωμοι. Ηλικίας Κενομάνιο - Τουρώνιο και πάχους 30 - 220 m.

9. Ιουρασικό

- ❖ Σχιστοκερατόλιθοι (Sch): Σχιστόλιθοι χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης μαζί με ιλυόλιθους και μικροκροκαλοπαγή σε στενή σύνδεση με τους σερπεντινίτες, ενστρώσεις όξινων σχιστώδων πετρωμάτων με ορυκτά μεταμορφώσεως (στιλπινομέλανα, ακτινόλιθο, λευκόξενο, αλβίτη) μεταξύ στρωμάτων σερπεντίνη. Άλλα πετρώματα αποτελούν, οι ημιμεταμορφωμένοι σχιστόλιθοι, περισσότερο ή λιγότερο πυριτικοί, επάλληλα εναλλασσόμενες τράπεζες σχιστολίθων και μαρμάρων και κερατολιθικοί όγκοι διαφόρων αποχρώσεων μέσα στους σχιστόλιθους.
- ❖ Οφιόλιθοι (O): Κυρίως σερπεντινίτες και κάποιοι περιδοτίτες, με κάποιες εμφανίσεις χρωμιτών. Τοπικά παρατηρούνται εμφανίσεις γάββρου και διαβάση. Οι οφιόλιθοι είναι πιθανότατα τεκτονικά τοποθετημένοι.

10. Τριαδικό - Κατώτερο Ιουρασικό

- ❖ Ασβεστόλιθοι (T-Ji.k): Σκοτεινοκύανοι ή τεφροί με καλή στρώση και ποικίλο βαθμό ανακρυστάλλωσης. Πολυάριθμοι ορίζοντες λατυποποιημένων ασβεστολίθων ερυθρωπού χρώματος και ορίζοντες συμπαγών μαύρων δολομιτικών ασβεστόλιθων. Προς τα πάνω αναπτύσσονται πολύ ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι με συχνά λιγότερο σαφή στρώση και γενικά πιο ανοιχτόχρωμοι. Η στρώση μπορεί να είναι σαφής ή να εξαφανίζεται εντελώς λόγω τεκτονισμού. Ηλικίας Τριαδικού - Κατώτερου Ιουρασικού και πάχους έως 1000 m.

2.2.4 Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης

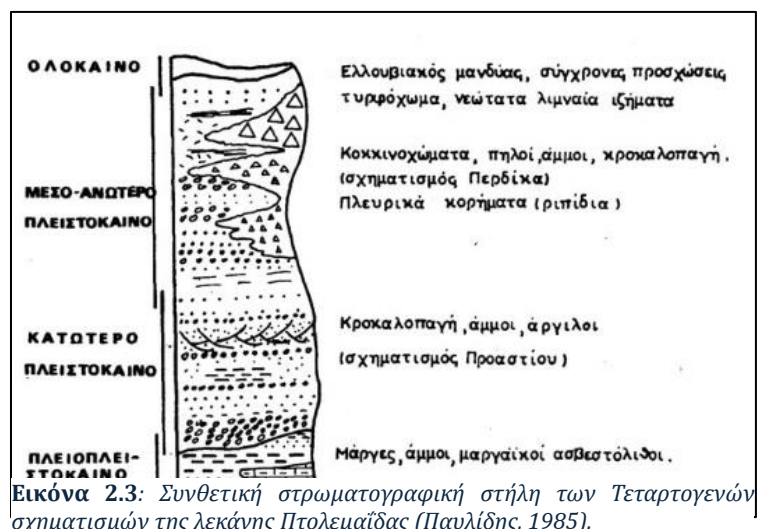
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα της λεκάνης της Κοζάνης που με την σειρά της ανήκει στην μεγάλη ενδοορεινή λεκάνη

Κοζάνης-Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου-Φλώρινας-Μοναστηρίου. Ο σχηματισμός της τάφρου αυτής όπως και των υπολεκανών που την απαρτίζουν είναι αποτέλεσμα τεκτονικών διεργασιών του Ανώτερου Μειοκαίνου. Τα παλαιότερα ως τώρα γνωστά νεογενή ιζήματα είναι τα κροκαλοπαγή βάσης που έχουν χρονολογηθεί ως ηλικίας Ανώτερου Μειοκαίνου – Κατώτατου Πλειοκαίνου. Βάση αυτών των δεδομένων, πιθανή ελάχιστη ηλικία σχηματισμού του τεκτονικού βυθίσματος θα μπορούσε να θεωρηθεί το Μέσω – Ανώτερο Μειόκαινο, περίοδος με έντονη εφελκυστική τεκτονική στην Βόρεια Ελλάδα και το Αιγαίο (Καντηράνης κ.ά., 2016). Παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικά η τεκτονική εξέλιξη της περιοχής (Παυλίδης, 1985):

- ❖ Εκτεταμένος εφελκυσμός στο Μέσω – Άνω Μειόκαινο έως και το Πλειστόκαινο δημιούργησε το αρχικό βύθισμα, που δέχτηκε χερσοποτάμια ιζήματα.
- ❖ Σχηματισμός λίμνης και ακόλουθη απόθεση λεπτόκοκκων ιζημάτων που ρηγματώνονται κατά το Πλειόκαινο λόγω εφελκυστικής φάσης.
- ❖ Κατά το Πλειόκαινο παρατηρείται λιμναία ιζηματογένεση(μάργες, λιγνίτες, άργιλοι κ.ά.) και τροφοδοσία κλαστικών υλικών από τα περιβάλλοντα πετρώματα (κρυσταλλοσχιστώδη και ανθρακικά). Μικρής έκτασης συμπίεστική τεκτονική κατά το Πλειόκαινο-Πλειοπλειστόκαινο.
- ❖ Νέος εφελκυσμός κατά το Ανώτατο Πλειόκαινο – Κατώτερο Τεταρτογενές με επαναδραστηριοποίηση προϋπαρχόντων ρηγμάτων. Διακοπή λιμναίας ιζηματογένεσης και έναρξη εκτεταμένης λιμνοδελταϊκής και χερσοποτάμιας φάσης.
- ❖ Περιορισμός λιμνών κατά το Τεταρτογενές με ακόλουθη κάλυψη περιοχών από χερσαία ιζήματα και πλευρικά ριπίδια. Η λειτουργία ρηγμάτων μέχρι το Ανώτερο Πλειστόκαινο – Ολόκαινο και η διάβρωση έδωσαν στην περιοχή την σύγχρονη εικόνα της.

2.2.5 Τεταρτογενείς αποθέσεις

Σήμερα σχεδόν ολόκληρη η επιφάνεια της λεκάνης είναι καλυμμένη από τεταρτογενείς αποθέσεις, οι οποίες είναι τοποθετημένες ασύμφωνα πάνω στα πλειστοκαινικά στρώματα λόγω τεκτονισμού, και η προέλευσή τους χαρακτηρίζεται ως λιμνοδελταϊκή, ποταμοχειμάρρια και χερσαία (Παυλίδης, 1985). Τα κροκαλοπαγή της λεκάνης είναι τα μόνα με λιμνοδελταϊκή προέλευση, ενώ οι υπόλοιπες υπερκείμενες αποθέσεις



έχουν ηπειρωτική προέλευση. Στον σχηματισμό τους συνέβαλαν και τεκτονικοί αλλά και κλιματικοί παράγοντες, με διαφορετικά ποσοστά επίδρασης για το καθένα κατά περίπτωση.

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις έχουν διαχωριστεί σε 3 (Εικ. 2.3) διαφορετικούς και διακριτούς σχηματισμούς που περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω (Παυλίδης, 1985):

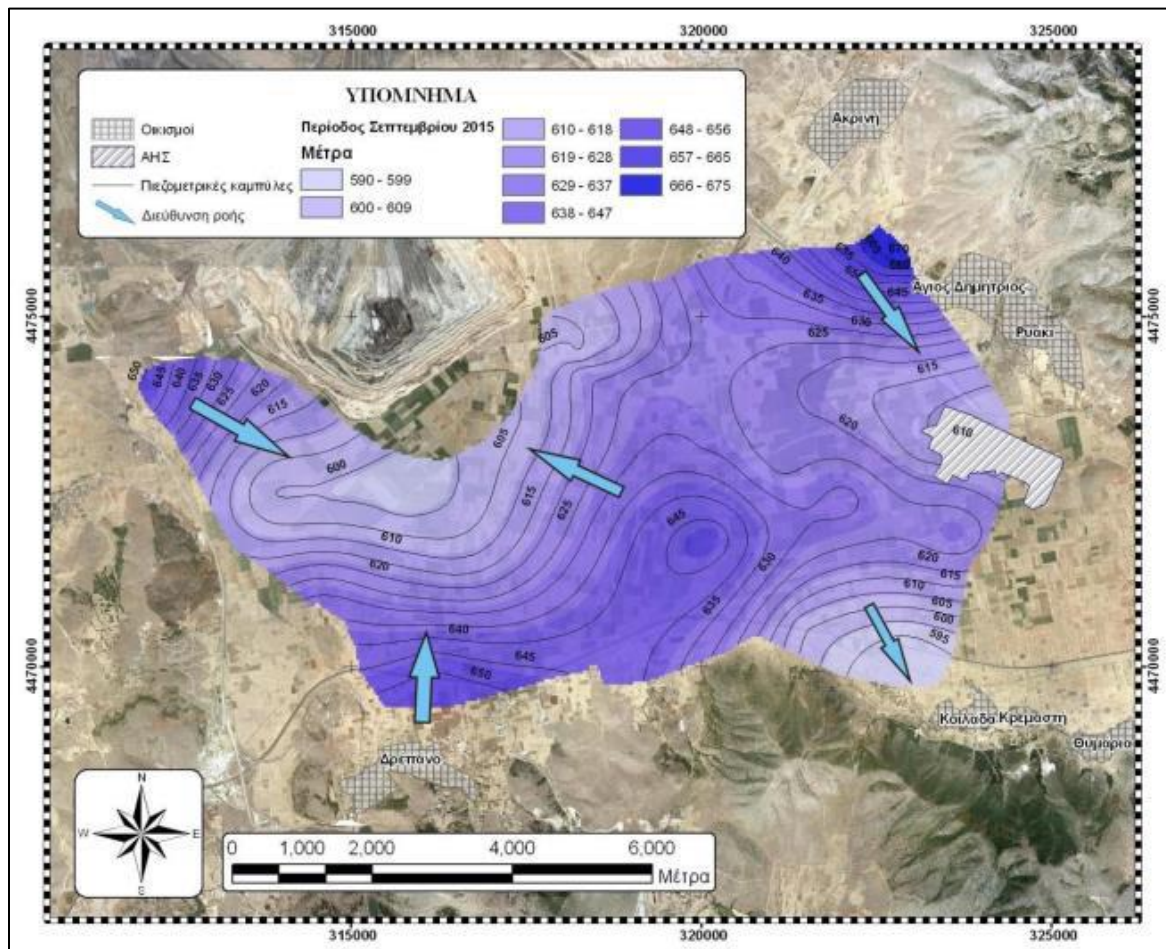
- ❖ Σχηματισμός Προαστίου: Πλειστοκαινικός σχηματισμός πάχους από λίγα μέτρα ως 400 m. Αποτελείται από άμμους χαλαρούς, λεπτόκοκκους με διασταυρωτή στρώση ή συμπαγείς, και κροκάλες ποικίλης σύστασης (σχιστολιθικές, γνευσιακές, περιδοτιτικές, χαλαζιακές, ασβεστολιθικές κ.ά.) και ψηλού βαθμού σφαιρικότητας. Τα υλικά μεταφέρθηκαν με χειμάρρους και ποτάμια διανύοντας μεγάλες αποστάσεις και αποτέθηκαν σε λιμναίο περιβάλλον.
- ❖ Σχηματισμός Περδίκας: Ο σχηματισμός Προαστίου μεταβαίνει ομαλά στις νεότερες αποθέσεις του σχηματισμού Περδίκας, που εντοπίζεται κυρίως στο κέντρο της λεκάνης. Το πάχος του μειώνεται από τα δυτικά στα ανατολικά, ενώ τα παχύτερα σημεία του δεν ξεπερνούν τα 20m. Η ηλικία του έχει υπολογιστεί ως Μέσου – Ανώτερου Πλειστοκαίνου. Αποτελείται από άμμους, αμμούχους αργίλους και μάργες σε εναλλασσόμενες στρώσεις, χαλαρά κροκαλοπαγή και τοπικά ψηφιδοπαγή και ερυθροπηλούς. Τα υλικά μεταφέρθηκαν από εποχιακούς ορμητικούς χειμάρρους και λασποροές, ενδεικτικές περιπαγετωδών περιοχών.
- ❖ Νεότερα πλευρικά ριπίδια: στα ανατολικά της λεκάνης Πτολεμαΐδας και στην περιοχή της Σαριγκιόλ αναπτύσσονται: i) πλευρικά ριπίδια (κώννοι κορημάτων) αποτελούμενα από ασβεστολιθικά και αργιλικά υλικά ηλικίας Μινδελίου (Μέσου Πλειστόκαινου), ii) ριπιδοειδείς κώννοι και ελουβιακά πεδία υπωρείων, ελαφρώς συγκολλημένα, ηλικίας Ρισσίου (Ανώτερο Πλειστόκαινο) και iii) χονδροκλαστικές αποθέσεις πλευρικών κορημάτων, ηλικίας Βουρμίου (Ανώτερου Πλειστοκαίνου – Ολοκαίνου).

2.2.6 Υδρογεωλογικές συνθήκες στην περιοχή

Επιφανειακοί αποδέκτες που αποστραγγίζουν την περιοχή αποτελούν χείμαρροι όπως και το τεχνητό ρέμα/τάφρος Σουλού, δημιουργώντας επιφανειακή απορροή με διεύθυνση προς τον Βορρά. Μέχρι και το 1954 όλη η επιφανειακή απορροή της περιοχής κατέληγε στο έλος της Σαριγκιόλ, το οποίο είχε μέγιστο βάθος τα 4 μέτρα. Η ακόλουθη αποστράγγιση του έλους Σαριγκιόλ είχε ως αποτέλεσμα την εκβάθυνση της κοίτης του ρέματος Σουλού, γεγονός που κατέστησε εφικτή την επιφανειακή απορροή προς τα βόρεια. Αξίζει να σημειωθεί ότι το Ρέμα Σουλού είναι αποδέκτης των επεξεργασμένων λυμάτων του Α.Η.Σ. «Αγίου Δημητρίου», καθώς και του νού αποστράγγισης του Νότιου Πεδίου για την εξόρυξη του λιγνίτη, ενώ ταυτόχρονα συνδέεται με δίκτυο αρδευτικών καναλιών από το οποίο αρδεύονται οι αγροτικές εκτάσεις μέσα στην λεκάνη Σαριγκιόλ (Καντηράνης κ.ά., 2016).

Στην περιοχή έρευνας εντοπίζονται τρεις διαφορετικοί τύποι υδροφορέων, συγκεκριμένα πορώδεις υδροφορείς εντός των νεογενών κα τεταρτογενών σχηματισμών (αποτελούμενοι κυρίως από άμμους και χάλικες), είτε ελεύθεροι στα περιθώρια της λεκάνης είτε υπό πίεση προς το κέντρο αυτής, καρστικοί υδροφορείς εντός των ανθρακικών πετρωμάτων στους ορεινούς όγκους που περιβάλλουν την λεκάνη και μικρής έκτασης υδροφορείς μέσα σε διαρρηγμένους οφιολιθικούς σχηματισμούς (Καντηράνης κ.ά., 2016).

Στον πορώδη υδροφορέα το πιεζομετρικό φορτίο έχει μετρηθεί μεταξύ 588 m και 679 m, με τις ψηλότερες τιμές να εμφανίζονται στα ΒΑ τμήματα της λεκάνης, κοντά στο χωριό Ακρινή, και οι χαμηλότερες στα Νότια τμήματα αυτής. Η άντληση νερού για αρδευτικούς σκοπούς έχει αλλάξει την συμπεριφορά της υπόγειας ροής (Εικ. 2.4), καθώς στα ΒΑ της λεκάνης η ροή έχει διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, ενώ στα Δυτικά της, ο ροή δείχνει να μεταβάλλεται (Καντηράνης κ.ά., 2016).

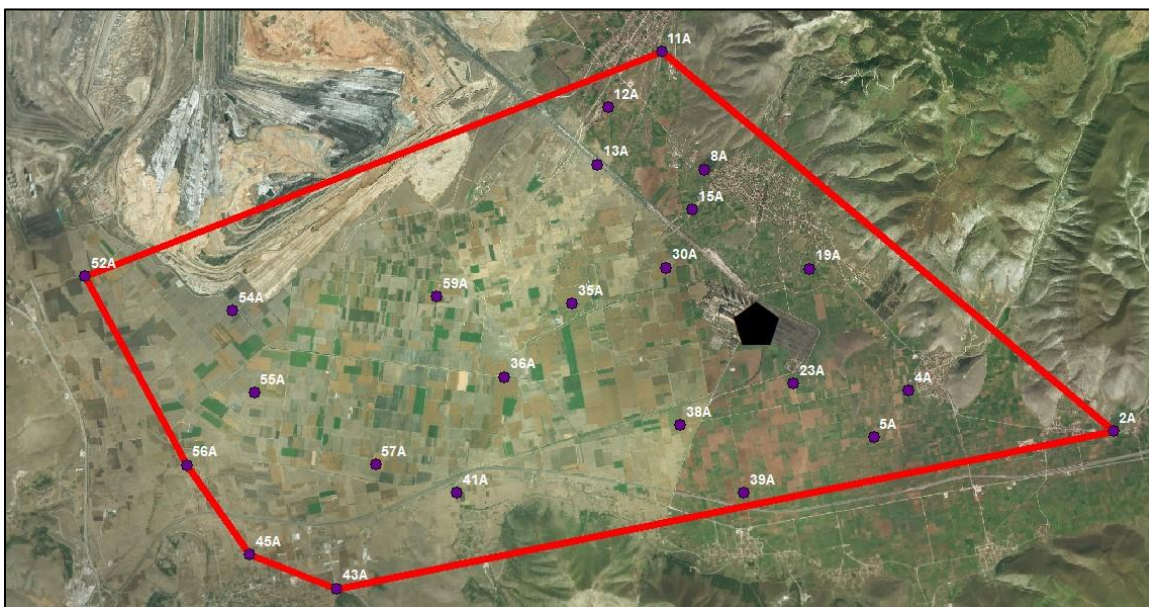


Εικόνα 2.4: Πιεζομετρικός χάρτης στην περιοχή έρευνας (Καντηράνης κ.ά., 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Για τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν 24 δείγματα ιζήματος. Από αυτά, 11 - τα δείγματα 45A, 43A, 41A, 13A, 35A, 36A, 30A, 38A, 39A, 19A και 23A - διατέθηκαν από τους Καντηράνη κ.ά. (2016) στα πλαίσια της μελέτης που πραγματοποιήθηκε για την εκτίμηση της προέλευσης του Cr(VI) στο υπόγειο νερό ύδρευσης των Δημοτικών Διαμερισμάτων Ακρινής - Αγίου Δημητρίου - Ρυακίου του Δήμου Κοζάνης, η οποία ανατέθηκε από το Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Κοζάνης (Δ.Ε.Υ.Α.Κ), το Δήμο Κοζάνης και την Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τα υπόλοιπα 13, -δείγματα 2A, 4A, 5A, 8A, 11A, 12A, 15A, 52A, 54A, 55A, 56A, 57A και 59A- αποτέλεσαν νέα δείγματα που πάρθηκαν αποκλειστικά για τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής, από θέσεις που είχαν γίνει παλαιότερες δειγματοληψίες για την προαναφερθείσα έρευνα (Εικ. 3.1).



Εικόνα 3.1: Η περιοχή της έρευνας, οι θέσεις των δειγμάτων και ο Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου (με μαύρο πεντάγωνο).

Τα παλιά αλλά και τα νέα δείγματα πάρθηκαν από τα εδάφη της λεκάνης Σαριγκιόλ, με δειγματολήπτη τύπου «Edelman» (Edelman soil auger). Όλα τα δείγματα πάρθηκαν από βάθος 12 cm και χρησιμοποιείται για αυτά ο κωδικός Α μαζί με τον αριθμό του δείγματος, π.χ. 38A. Τα παλιά δείγματα συλλέχθηκαν την περίοδο Μαΐου - Ιουνίου 2014 και τα νέα, τον Οκτώβριο του 2023. Να σημειωθεί πως οι ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις που περιγράφονται στα ακόλουθα κεφάλαια, πραγματοποιήθηκαν μόνο στα νέα δείγματα, ενώ τα στοιχεία για τα προϋπάρχοντα δείγματα πάρθηκαν από την μελέτη των Καντηράνη κ.ά. (2016).

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

3.2.1 Εισαγωγή

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες καθώς και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων που πάρθηκαν από την λεκάνη Σαριγκιόλ. Η αποτύπωση και κατανόηση της κατανομής του U και του Th, όπως και των υπόλοιπων ιχνοστοιχείων των εξεταζόμενων δειγμάτων, είναι ιδιαίτερα σημαντική λόγω της εγγύτητας των Α.Η.Σ. «Αγίου Δημητρίου» και «Καρδιάς» στην περιοχή μελέτης. Όπως είναι γνωστό, τα στερεά καύσιμα περιέχουν επιβλαβή ιχνοστοιχεία και βαρέα μέταλλα, τα οποία εμπλουτίζονται με την διαδικασία της καύσης στην παραγόμενη ιπτάμενη τέφρα και έτσι διασπείρονται στην γύρω περιοχή (Iordanidis et al., 2001). Συγκεκριμένα για τα ραδιενεργά σωματίδια, έχουν μετρηθεί ανεβασμένες τιμές για τους άνθρακες στα ορυχεία της «Καρδιάς» σε σύγκριση με τις παγκόσμιες μέσες τιμές (Tsikritzis et al., 2008).

Ο εμπλουτισμός που υφίσταται η αιωρούμενη τέφρα σε πολλά χημικά στοιχεία είναι και αυτό που την καθιστά επιβλαβή ή ακόμα και άκρως τοξική για τους έμβιους οργανισμούς (Suloway et al., 1983). Έρευνες που έχουν γίνει στην περιοχή, έχουν μετρήσει αυξημένες τιμές πιθανώς επιβλαβών ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων, συμπεριλαμβανομένου του U και του Th, στο έδαφος, στα υπόγεια νερά και στα παραγόμενα γεωργικά προϊόντα της περιοχής, αν και σε τιμές που δεν θεωρήθηκαν άμεσα επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία (Noli and Tsamos 2016; Noli et al., 2017). Βέβαια, ένας από τους κύριους παράγοντες της επικινδυνότητας του U και του Th, αποτελεί η μακροβιότητα της ραδιενεργής τους δράσης καθώς και τα δύο έχουν περίοδο ημιζωής που αγγίζει τα δισεκατομμύρια έτη (δ.ε.), για το U τα 4.5 και το Th τα 14 δ.ε. Παράλληλα κατά την διάσπαση τους συνεχίζουν να παράγουν άλλα ραδιενεργά στοιχεία, όπως Ra, Rn και Po (Coward and Burnett, 1994).

Η συμπεριφορά του U στο έδαφος και τα νερά παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις ανάλογα με το περιβάλλον. Η απουσία ανθρακικών συστατικών και οι αναγωγικές συνθήκες ωθούν στον σχηματισμό οξειδίων και υδροξειδίων του ουρανίου που θεωρούνται γενικά δυσκίνητες ενώσεις. Αντίθετα η παρουσία ανθρακικών ενώσεων και οι οξειδωτικές συνθήκες αυξάνουν την κινητικότητα του, σχηματίζοντας ανθρακικές, φωσφορικές, φθοριούχες, θειούχες κ.ά. ενώσεις. Τέλος, η μεγάλη ιοντική ακτίνα του U καθιστά δύσκολο να εισέλθει στην δομή πολλών ορυκτών και παραμένει σε διάλυση μέχρι να εισέλθει ως ενυδατωμένο κατιόν στον ενδοστοιβαδικό χώρο των αργίλων με απορρόφηση. Όσον αφορά το Th, φαίνεται πως η μεταφορά του στα εδάφη δεν γίνεται με την μορφή συγκεκριμένων ενώσεων ή τουλάχιστον δεν γίνεται σε αξιοσημείωτο βαθμό. Το Th δείχνει να απορροφάται κυρίως από συστατικά με κοκκομετρία αργίλου και η μεταφορά του να γίνεται από τον αέρα και το νερό, ενώ σημαντικό ρόλο φαίνεται να παίζει και η μεταφορά του σε κολλοειδή μορφή τόσο στο έδαφος όσο και στον νερό (Sheppard, 1980).

Η έκθεση του ανθρώπου στο U και το Th, παρουσιάζει σημαντικούς κινδύνους για την υγεία καθώς ως ραδιενεργά στοιχεία αυξάνουν το ρίσκο της καρκινογένεσης. Κάποιοι από τους τρόπους που η ραδιενέργεια των στοιχείων αυτών φτάνει στον άνθρωπο θεωρούνται ασήμαντοι ή μη επικίνδυνοι, όπως είναι η απευθείας ακτινοβολία από το έδαφος, αν αυτή δεν ξεπερνά ορισμένα όρια. Αντίθετα η εισπνοή μικροσωματιδίων ή η κατανάλωση προϊόντων που περιέχουν τα ραδιενεργά αυτά στοιχεία μπορεί να αποτελέσει σοβαρό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία (Tadmor, 1986).

3.2.2 Προετοιμασία δειγμάτων

Πριν την εφαρμογή οποιασδήποτε αναλυτικής μεθόδου τα δείγματα αξιολογήθηκαν μακροσκοπικά όσον αφορά το χρώμα, την μορφολογία και τα συστατικά που περιείχαν. Τα χρώματα των περισσότερων δειγμάτων είχαν καστανές αποχρώσεις, από ανοιχτές καστανέρυθρες μέχρι σκούρες καστανές, τα υπόλοιπα ήταν τεφρά, ανοιχτόχρωμα έως σκούρα, και ένα δείγμα ήταν υποκίτρινο. Τα τεφρά δείγματα λήφθηκαν από εδάφη μέσα ή πολύ κοντά σε γεωργικές εκτάσεις. Σε όλα σχεδόν τα δείγματα παρατηρήθηκαν εδαφικά υπολείμματα (κυρίως ρίζες και χόρτα) καθώς πάρθηκαν από βάθος 10cm, ενώ σε κάποια από αυτά βρέθηκαν και μικρά χαλίκια από τα περιβάλλοντα πετρώματα.

Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο και τοποθετήθηκαν σε κλίβανο στους 110°C για 24 ώρες για να επιταχυνθεί η διαδικασία ξήρανσης τους. Στην συνέχεια το υλικό κονιοποιήθηκε σε μηχανικό κονιοποιητή (pulverizer) μέχρι την μορφή αναφούς σκόνης για να ομογενοποιηθεί και ακολούθησε τεταρτημόρισή του με την χρήση διαχωριστή εδάφους (riffle box). Για καλύτερη ομογενοποίηση το κλάσμα του κάθε δείγματος μετά την τεταρτημόριση κονιοποιήθηκε ξανά στο χέρι με αχάτινο γουδί.

3.2.3 Ορυκτολογική Ανάλυση

Ο προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης κάθε δείγματος έγινε με την χρήση της μεθόδου της περιθλασιμετρίας ακτινών - X (XRD) σε παρασκευάσμα κόνεως τυχαίου προσανατολισμού. Το περιθλασίμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι το D8 ADVANCE της BRUKER. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε ακτινοβολία ακτινών - X χαλκού (CuK α) με μήκος κύματος 1,54056 Å και φίλτρο Ni 0,0170 mm για την απομόνωση μονοχρωματικής ακτινοβολίας-X CuK α . Οι συνθήκες λειτουργίας του περιθλασίμετρου ήταν: τάση 40 kV, ένταση 40 mA, ταχύτητα σάρωσης 0,07°/sec και περιοχή σάρωσης 3-63° 2θ. Πριν από την ακτινογράφιση έγινε έλεγχος της ευαισθησίας και της ακρίβειας του περιθλασίμετρου με ειδικό πρότυπο καθαρού πυριτίου. Η απόκλιση των τιμών d ήταν $\pm 0,0006\text{\AA}$ και των τιμών 2θ $\pm 0,0015^\circ$. Για

την ταυτοποίηση των ορυκτολογικών φάσεων έγινε με την εφαρμογή DIFRAC EVA v7.1 με την εφαρμογή της βάσης δεδομένων PDF-4 minerals (2024).

3.2.4 Χημική Ανάλυση

Η χημική ανάλυση κάθε δείγματος έγινε με την χρήση φθορισμετρίας ακτινών - X (XRF) σε παρασκευάσμα κόνεως. Το μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση ήταν το S1 Titan 600 της BRUKER. Ο ανιχνευτής του μηχανήματος είναι ο CUBE™ 20mm² SDD (Silicon Drift Detector) με τυπική ανάλυση <145 eV ικανός να πάρει μετρήσεις σε 250.000 cps (counts per second) για MnK_α ακτινοβολία. Το μηχάνημα παράγοντας ακτίνες - X, προσφέρει ενέργεια σε ένα φίλτρο Mn, από τα άτομα του οποίου απομακρύνονται ηλεκτρόνια από την «K» στιβάδα. Όταν ηλεκτρόνια από τις παραπάνω στιβάδες, όπως η «L», πέφτουν για να γεμίσουν το κενό, παράγονται επιπλέον ακτίνες - X που αποκαλούνται K_α, γνωστού μήκους κύματος που χρησιμοποιούνται ως σημείο αναφοράς για τις ακτίνες που θα παραχθούν από το δείγμα. Για την παραγωγή των αρχικών ακτινών το μηχάνημα χρησιμοποιεί λυχνία Rh οποίος λειτουργεί με 2W, 15 - 50kV και 5 - 100 μ A.

Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν από τα υπάρχοντα δείγματα έγιναν από τα διεθνώς πιστοποιημένα και αξιόπιστα канаδικά εργαστήρια Activation Laboratories LTD, 1336 Sandhill Drive Ancaster Ontario Canada L9G 4V5, <http://www.actlabs.com>. Χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω μέθοδοι: Επαγωγικά Συζευγμένη Φασματομετρία Οπτικής Εκπομπής (ICP-OES) με σύντηξη με μεταβολικό λίθιο (LiBO₂) και τετραβορικό λίθιο (Li₂B₄O₇), Επαγωγικά Συζευγμένη Φασματομετρία Μάζας (ICP-MS) σε υαλοποιημένα δισκία μετά από σύντηξη με μεταβολικό λίθιο (LiBO₂) και τετραβορικό λίθιο (Li₂B₄O₇), Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) και ICP μετά από ολική διαλυτοποίηση σε ένα διάλυμα HClO₄, HNO₃, HCl και HF στους 200 °C (Καντηράνης κ.α. 2016).

Για τους σκοπούς της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν τα κύρια οξείδια SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O_{3t}, MnO, MgO, CaO, K₂O, P₂O₅, SO₃, K₂O, η απώλεια πύρωσης, καθώς και τα ιχνοστοιχεία Cr, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Ba, Pb, Th και U. Τέλος, για τα εδαφικά δείγματα και τα ιζήματα υπολογίστηκε ο συντελεστής επιμόλυνσης και ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση των εδαφών τόσο για τα κύρια στοιχεία (Hansford and Boerngen, 1984), όσο και για τα ιχνοστοιχεία (Kabata-Pendias, 2011). Στους Πίνακες 3.1 - 3.2 αναγράφονται τα όρια ανίχνευσης των κυρίων στοιχείων και ιχνοστοιχείων για τις νέες μετρήσεις. Για όποια δείγματα οι τιμές έπεφταν κάτω από το όριο ανίχνευσης, πάρθηκαν συμπληρωματικές τιμές από την έρευνα των Καντηράνης κ.ά. (2016).

Πίνακας 3.1: Όρια ανίχνευσης των κύριων στοιχείων.

Κύριο στοιχείο	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅
Όριο ανίχνευσης (ppm)	N/A	40	1250	20	13	4900	35	44	39

Πίνακας 3.2: Όρια ανίχνευσης των ιχνοστοιχείων.

Ιχνοστοιχείο	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Ba	Pb	Th	U
Όριο ανίχνευσης (ppm)	16	6	3	2	3	1	2	1	7	62	6	4	9

3.2.5 Στατιστική Ανάλυση

Λόγο του σχετικά μικρού αριθμού των δειγμάτων (n=24), έγινε εφικτή μια απλή στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων κάθε ανάλυσης. Στα πλαίσια αυτής, έγινε συσχετισμός του U και του Th, με την χρήση διαγραμμάτων διασποράς (scatter plot), με τα ορυκτά, τα κύρια στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία τα οποία μετρήθηκαν κατά την ορυκτολογική και χημική ανάλυση των δειγμάτων. Σε κάθε διάγραμμα συσχετισμού αποτυπώνεται η γραμμή τάσης όπως και η εξίσωση που περιγράφει την γραμμή τάσης. Επιπλέον, αναγράφεται και ο συντελεστής συσχέτισης R^2 , ο οποίος εκφράζει σε ποιο βαθμό η μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής εξηγείται από την μεταβλητότητα της ανεξάρτητης μεταβλητής. Ο συντελεστής προσδιορισμού παίρνει τιμές $0 < R^2 < 1$, και ανάλογα την τιμή του αξιολογείται η συσχέτιση των μεταβλητών όπως φαίνεται παρακάτω:

- $0 < R^2 < 0.1$: πολύ αδύναμος συσχετισμός
- $0.1 \leq R^2 < 0.3$: αδύναμος συσχετισμός
- $0.3 \leq R^2 < 0.5$: ήπιος συσχετισμός
- $0.5 \leq R^2 < 0.7$: ισχυρός συσχετισμός
- $0.7 \leq R^2 < 0.9$: πολύ ισχυρός συσχετισμός
- $0.9 \leq R^2 < 1$: πάρα πολύ ισχυρός συσχετισμός

3.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΧΑΡΤΩΝ - ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

Για την επεξεργασία των γεωχωρικών δεδομένων όπως και της δημιουργίας των χαρτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Γεωγραφικών Πληροφοριών ArcGIS έκδοση 10.8.1, άδεια για την χρήση του οποίου έχει παραχωρηθεί από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής παραχωρήθηκε από την υποψήφια διδακτόρισα του Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ, κα Χρύσα Χρυσικοπούλου και Γεωλογικοί Χάρτες της περιοχής από το Καθηγητή του Τομέα Γεωφυσικής, κ. Γεώργιο Βαργεμέζη. Οι χάρτες και τα δείγματα χρησιμοποιούν το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ'87).

Για την δημιουργία των χαρτών χρησιμοποιήθηκαν δύο γεωστατιστικές μέθοδοι, για τον σχηματισμό γεωχημικών καμπυλών η Natural Neighbor Interpolation (NN) και για το μοντέλο πρόβλεψης της γεωχημικής κατανομής η μέθοδος Inverse Distance Weighted (IDW). Και οι δύο αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω.

3.3.1 Natural Neighbor - NN

Η μέθοδος παρεμβολής Natural Neighbor χρησιμοποιεί της γεωμετρικές ιδιότητες των κελιών Voronoi για να προσδιορίσει την επίδραση κάθε γειτονικού σημείου στην παρεμβαλλόμενη τιμή. Αποτελεί μια γεωστατιστική μέθοδο και περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω σύμφωνα με τον Boback (2009). Για κάθε γνωστό σημείο δεδομένων δημιουργείται ένα κελί Voronoi το οποίο περιέχει τα κοντινότερα γειτονικά στοιχεία σε αυτό. Σε κάθε διάγραμμα Voronoi εισάγεται ένα σημείο Q (query point) το οποίο δημιουργεί ένα νέο σεν από κελιά Voronoi, τροποποιώντας έτσι τα γειτονικά κελιά. Στην συνέχεια προσδιορίζεται η περιοχή που τα γειτονικά κελιά «έχασαν» από την δημιουργία του κελιού γύρω από το σημείο Q . Η περιοχή γύρω από κάθε γειτονικό στοιχείο i που επικαλύπτεται από το νέο κελί Voronoi γύρω από το σημείο Q ονομάζεται A_i . Για κάθε γειτονικό στοιχείο i , υπολογίζεται το βάρος w_i από τον παρακάτω τύπο:

$$w_i = \frac{A_i}{\sum_{j=1}^n A_j}$$

- Ως w_i το βάρος του εκάστοτε γείτονα i .
- A_i η περιοχή του νέου κελιού Voronoi που αλληλοεπικαλύπτεται από το κελί του γείτονα i .
- Και $\sum_{j=1}^n A_j$ είναι η συνολική επιφάνεια όλων των επικαλυπτόμενων κελιών Voronoi των γειτόνων.

Η τιμή για μια παρεμβαλλόμενη τιμή, δηλαδή το τελικό αποτέλεσμα της παρεμβολής NN, δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Z_Q = \sum_{i=1}^n w_i Z_i$$

- Z_Q είναι η τιμή της παρεμβολής στο σημείο Q .
- w_i είναι η τιμή του βάρους για τον γείτονα i .
- Z_i είναι η τιμή στο σημείο του γείτονα i .
- Και n ο αριθμός των γειτονικών σημείων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την μέθοδο.

3.3.2 Inverse Distance Weighted – IDW

Η Inverse Distance Weighted είναι μια ντετερμινιστική/αιτιοκρατική (deterministic) μέθοδος που παράγει επιφάνειες από προϋπάρχοντα δεδομένα, χρησιμοποιώντας είτε το βαθμό ομοιότητας είτε το βαθμό εξομάλυνσης των δεδομένων. Πρόκειται για μια από τις πιο πρώιμες μεθόδους για την πρόβλεψη χωρικών δεδομένων, με τον τρόπο λειτουργίας της να είναι ο υπολογισμός τιμών σε άγνωστα σημεία δίνοντας βάρη στις ήδη γνωστές τιμές κοντινών δειγμάτων μέσα σε μια συγκεκριμένη απόσταση (Strongylis, 2023). Η γενική εξίσωση της IDW είναι η παρακάτω:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$$

- Το $\hat{Z}$ αποτελεί την αναζητούμενη τιμή στο άγνωστο σημείο x_0 .
- Το N είναι ο αριθμός των παρατηρούμενων δεδομένων γύρω από την περιοχή της πρόβλεψης.
- Το λ_i αποτελεί το βάρος που ανατίθεται στο σημείο. Και το Z είναι η τιμή που έχει μετρηθεί στην θέση x_i .

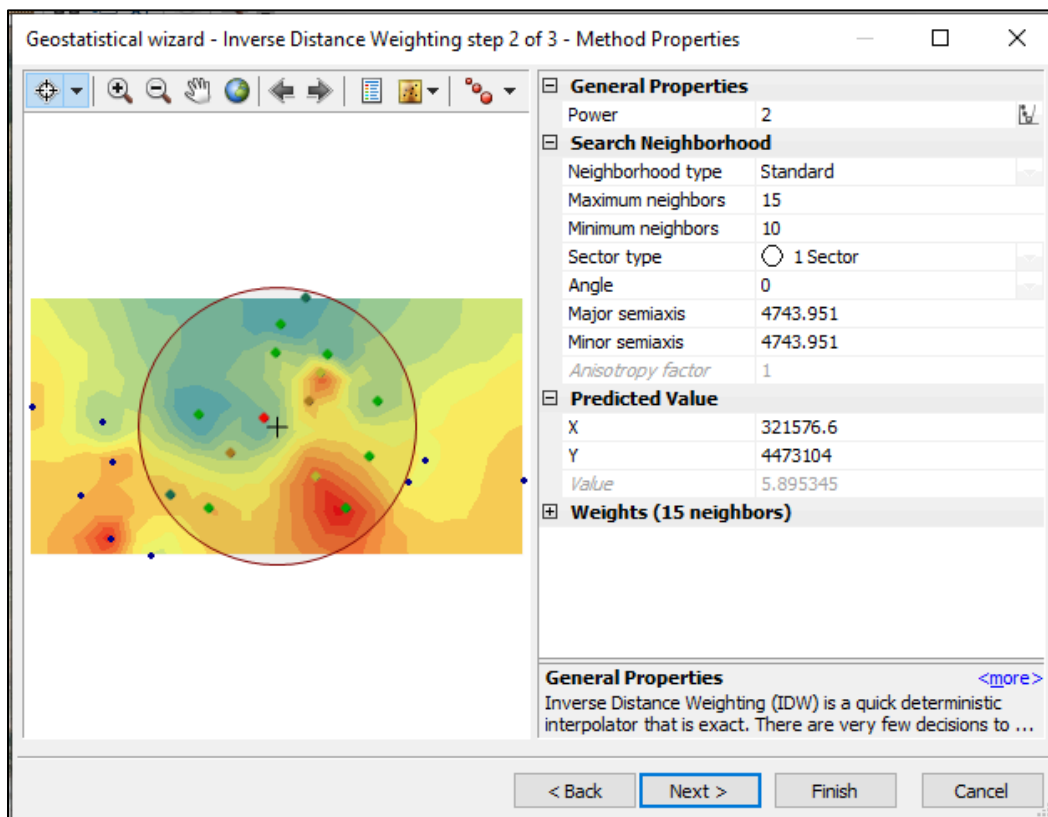
Μια από τις βασικότερες αρχές της IDW είναι πως οι μετρημένες τιμές πιο κοντά στο σημείο της πρόβλεψης θα ασκούν μεγαλύτερη επιρροή ως προς το πια τιμή θα προκύψει. Αναθέτονται βάρη στις γνωστές τιμές με τις κοντινότερες τιμές να έχουν μεγαλύτερα βάρη από τις μακρινότερες (Strongylis, 2023). Η τιμή για το εκάστοτε βάρος υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\lambda_i = \frac{d_{io}^{-\rho}}{\sum_{i=1}^N d_{io}^{-\rho}}$$

- Το $d_{io}^{-\rho}$ αντιπροσωπεύει την απόσταση μεταξύ της τοποθεσίας πρόβλεψης $\hat{Z}(x_0)$ και κάθε μια από τις τοποθεσίες $Z(x_i)$.
- Και ρ αποτελεί την δύναμη την οποία επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε, οι τιμές της οποίας κυμαίνονται από 0 έως 100, με συνηθέστερες τιμές τις 0,1, 2 και 3.

Οι δύο σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της IDW είναι η δύναμη (ρ) και ο αριθμός των γειτόνων που χρησιμοποιούνται άρα και κατ' επέκταση ο αριθμός των δειγμάτων. Στο ArcGIS, καθορίζονται πέραν αυτών, ο

ελάχιστος και μέγιστος αριθμός των γειτονικών τιμών που θα χρησιμοποιηθούν, η μέθοδος αναζήτησης και ποιος είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος να γίνει ο διαχωρισμός της «γειτονίας» των δειγμάτων (με έναν τομέα, με 4 τομείς, με 4 τομείς των 45° και με 8 τομείς)(Εικ. 3.2)(Strongylis, 2023). Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων κάθε χάρτη χρησιμοποιούνται δύο παράμετροι, η Mean Error (ME) και η Root-Mean-Square-Error (RMSE). Όσο πιο κοντά στο 0 βρίσκονται αυτές οι τιμές για τον εκάστοτε χάρτη, τόσο πιο αξιόπιστο θεωρείται το μοντέλο πρόβλεψης που προκύπτει από αυτόν. Στα παρακάτω κεφάλαια, κάθε χάρτης θα παρουσιάζεται μαζί με τις παραμέτρους που απέδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα για τα εκάστοτε δεδομένα καθώς δεν υπάρχει κάποιο ευρέως αναγνωρισμένο σετ παραμέτρων που να παράγουν τα καλύτερα αποτελέσματα (Xu and Zhang, 2023).



Εικόνα 3.2: Παράδειγμα παραμέτρων στο Geostatistical Wizard του ArcGIS κατά την δημιουργία μοντέλου πρόβλεψης με την μέθοδο IDW.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στον Πίν. 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής μελέτης των νέων δειγμάτων μαζί με τα στοιχεία των παλαιών δειγμάτων από την εργασία των Καντηράνης κ.ά. (2016). Για την ευκολότερη κατανόηση και παρακολούθηση των αποτελεσμάτων, δίνεται ο Πίν. 4.2 στον οποίο παρουσιάζονται κάποια βασικά στατιστικά στοιχεία των καταγεγραμμένων ορυκτών φάσεων. Αυτά αποτελούν την μέση τιμή, την διάμεση τιμή, την τυπική απόκλιση και την μέγιστη και ελάχιστη τιμή.

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης (% κ.β) του εδάφους.

Δείγμα	Qz	Cc	Do	F	Ch	M	Am	Serp	Ta	Px	Cl
2A	21	21	4	22	2	27	1	2	-	-	-
4A	20	19	30	17	5	4	-	1	4	-	-
5A	18	23	24	7	4	19	3	-	2	-	-
8A	5	62	12	9	2	3	1	3	1	-	2
11A	17	59	-	6	4	4	-	6	1	3	-
12A	17	70	-	5	2	4	-	2	-	-	-
15A	27	37	-	12	7	3	-	5	5	-	4
52A	22	14	47	8	3	2	1	3	-	-	-
54A	11	72	-	4	3	-	2	-	2	3	3
55A	22	41	2	11	4	14	1	-	4	-	1
56A	54	-	-	29	4	2	2	6	3	-	-
57A	22	19	-	20	-	27	2	4	4	-	2
59A	6	79	1	2	1	6	1	4	-	-	-
45A	75	7	-	14	1	3	-	-	-	-	-
43A	42	9	25	13	-	1	-	-	-	-	10
41A	60	10	3	14	10	3	-	-	-	-	-
13A	30	44	1	10	11	1	-	3	-	-	-
35A	20	64	-	3	8	3	-	-	2	-	-
36A	37	36	3	10	8	5	-	-	1	-	-
30A	45	42	-	6	3	1	-	-	-	-	3
38A	50	9	10	10	12	4	4	-	1	-	-
39A	46	11	10	19	5	5	4	-	-	-	-
19A	22	21	25	6	10	1	4	8	3	-	-
23A	35	28	19	4	10	2	2	-	-	-	-

Qz: Χαλαζίας, Cc: Ασβεστίτης, Do: Δολομίτης, F: Άστριοι (πλαγιόκλαστα κυρίως αβλίτης + καλιούχοι άστριοι), Ch: Χλωρίτης και Καολίνη, M: Μαρμαρυγίες (μοσχοβίτης και φλογοπίτης), Am: Αμφίβολοι, Serp: Σερπεντίνη, Ta: Τάλκης, Px: Πυρόξενοι, Cl: Αργιλικά ορυκτά.

Πίνακας 4.2: Στατιστική ανάλυση των ορυκτών φάσεων του εδάφους.

	Qz	Cc	Do	F	Ch	M	Am	Serp	Ta	Px	Cl
Mean	30.3	33.3	9.1	10.7	4.8	6.0	1.2	1.9	1.4	0.2	1.0
Median	22.0	25.3	2.3	9.6	3.7	3.1	0.8	0.6	1.2	-	-
STDEV	17.6	23.4	12.7	6.6	3.6	7.5	1.4	2.3	1.5	0.8	2.2
MAX	76	78.9	47.7	29.1	12.1	27.6	4.2	8	4.7	3.4	10.3
MIN	5.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mean: Μέση τιμή, Median: Διάμεση τιμή, STDEV: Τυπική απόκλιση, Max: Μέγιστη τιμή, Min: Ελάχιστη τιμή											

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται πως τα κύρια ορυκτά που συνεισφέρουν στην ανόργανη φάση των δειγμάτων είναι ο χαλαζίας και ο ασβεστίτης με σχετικά κοντινές τιμές, προσεγγίζοντας μία μέση τιμή λίγο πάνω από 30% κ.β., ενώ τα δύο ορυκτά φτάνουν σε ορισμένες περιπτώσεις και το 80% κ.β. σε ποσοστό συμμετοχής. Ακολουθούν ο δολομίτης και οι άστριοι (πλαγιόκλαστα και καλιούχοι άστριοι μαζί) σε μικρότερες ποσότητες, με τις μέσες τους τιμές να είναι κοντά στο 10% κ.β. αν και σε ακραίες περιπτώσεις οι άστριοι να προσεγγίζουν το 30% κ.β., ενώ ο δολομίτης να προσεγγίζει το 50% κ.β. Τα υπόλοιπα ορυκτά (χλωρίτης, μοσχοβίτης, αμφίβολοι, σερπεντίνη, τάλκης, πυρόξενοι και αργιλικά ορυκτά) εμφανίζονται σε μικρά ποσοστά, σαν ίχνη (της τάξης του ~1% κ.β.) ή μπορεί και να απουσιάζουν πλήρως από κάποια δείγματα. Να σημειωθεί πως το δείγμα 59A ήταν το μόνο στο οποίο βρέθηκε η παρουσία αραγωνίτη, με ποσοστό 2% κ.β. το οποίο συμπεριλήφθηκε μαζί με τον ασβεστίτη του αντίστοιχου δείγματος.

Καθώς κάποιοι από τους τεταρτογενείς σχηματισμούς της λεκάνης Σαριγκιόλ αποτελούνται από κλαστικά ιζήματα με σημαντική παρουσία άμμου (Παυλίδης, 1985; Kazakis et al., 2018), η παρουσία χαλαζία όπως και αστρίων είναι αναμενόμενη. Η παρουσία ασβεστόλιθου και δολομίτη είναι επίσης αναμενόμενη καθώς οι ορεινοί όγκοι στα ΒΑ της λεκάνης αποτελούνται σε μεγάλο βαθμό από ανθρακικά πετρώματα (Kazakis et al., 2017, 2018). Μαζί με τα ανθρακικά πετρώματα, στους ίδιους ορεινούς όγκους συνυπάρχουν και οφιολιθικά πετρώματα, αιτιολογώντας έτσι την παρουσία του σερπεντίνη, του τάλκη, των πυροξένων και των αμφιβόλων (Kazakis, 2017; Kazakis 2018). Ο μοσχοβίτης μπορεί να έχει προέλευση είτε από τα κλαστικά ιζήματα είτε δευτερογενώς κατά την εδαφογένεση (Dixon and Weed, 1989), ενώ ο χλωρίτης (+ καολίνη) και τα ορυκτά της αργίλου αποτελούν δευτερογενώς σχηματισμένα προϊόντα διαγένεσης.

Αν και η λιθογενής προέλευση των ορυκτών αυτών φάσεων δεν μπορεί να αμφισβητηθεί, η καύση του λιγνίτη στην περιοχή δημιουργεί διττή προέλευση για πολλά από τα προαναφερθέντα ορυκτά. Σε προηγούμενες έρευνες που έγιναν σχετικά με την ορυκτολογική σύσταση του καιγόμενου λιγνίτη και της αιωρούμενης τέφρας αναγνωρίστηκαν ορυκτά όπως ο χαλαζίας, οι άστριοι, ο ασβεστίτης και αργιλικά ορυκτά (Koukouzas et al., 2006, 2010) τα οποία φαίνεται να έχουν

σημαντικά ποσοστά συμμετοχής. Σε άλλες μελέτες για την συγκεκριμένη περιοχή (Filippidis and Georgakopoulos, 1992; Filippidis et al 1996; Kostakis, 2009) μετρήθηκαν επίσης ποσότητες μοσχοβίτη και πυροξένων όπως και δολομίτη μαζί με τα προηγούμενα ορυκτά, καθώς και ορυκτά τα οποία δεν εντοπίστηκαν στην παρούσα έρευνα. Κάποια από αυτά αποτελούν συνηθισμένα ορυκτά όπως είναι ο αιματίτης, ο ανυδρίτης, η γύψος και ο σιδηροπυρίτης ενώ άλλα όπως ο μουλίτης, το περίκλαστο και ο χερκυνίτης αποτελούν σπάνιες ορυκτές φάσεις. Πολλές από αυτές δεν βρέθηκαν φυσικά στην περιοχή αλλά αποτελούν νέες φάσεις που σχηματίζονται κατά την καύση του λιγνίτη. Το φαινόμενο αυτό εντείνεται καθώς ο λιγνίτης της λεκάνης Πτολεμαΐδας συνεξορύσσεται και καίγεται μαζί με τον μαργαϊκό ασβεστόλιθο με τον οποίο και συνυπάρχει, συνεισφέροντας επιπρόσθετο ασβεστίτη, άσβεστο (lime) και αργιλικά ορυκτά στο μίγμα καύσης (Εικ. 4.1)(Kolonos et al 2002; Χρυσικοπούλου, 2023).

Sample	Minerals						Characterization
	Calcite	Aragonite	Quartz	Feldspars	Clays*	Amphiboles	
1	93	—	—	—	7	—	Marly limestone
2	93	traces	—	—	6	—	Marly limestone
3	92	traces	—	—	7	—	Marly limestone
4	93	traces	—	—	6	—	Marly limestone
5	94	—	—	—	6	—	Marly limestone
6	87	—	—	—	13	—	Marly limestone
7	6	—	15	68	11	—	Feldspar sand
8	93	traces	—	—	6	—	Marly limestone
9	93	—	—	—	7	—	Marly limestone
10	81	—	9	5	5	—	Quartz-feldspar marly limestone
11	91	traces	—	—	8	—	Marly limestone
12	93	traces	—	—	6	—	Marly limestone
13	86	traces	—	—	13	—	Marly limestone
14	51	—	14	17	18	—	Quartz-feldspar limestone
15	95	—	—	—	5	—	Marly limestone
16	90	—	—	4	6	—	Feldspar marly limestone
17	93	—	—	—	7	—	Marly limestone
18	93	—	—	—	7	—	Marly limestone
19	94	—	—	—	6	—	Marly limestone
20	94	—	—	—	6	—	Marly limestone
21	94	—	—	—	6	—	Marly limestone
22	94	—	—	—	6	—	Marly limestone

Εικόνα 4.1: Ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση (%κ.β.) των στείρων υλικών από το νότιο λιγνιτικό πεδίο της Πτολεμαΐδας (Kolonos et al, 2002).

4.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στον Πίν. 4.4 δίνεται η χημική σύσταση των ιζημάτων στα οξείδια των κυρίων στοιχείων (% κ.β.) που συλλέχθηκαν από διαφορετικές θέσεις για το βάθος των 0 – 10 cm, και στον Πίν. 4.6 οι αντίστοιχες τιμές των ιχνοστοιχείων (ppm) που αναλύθηκαν. Για να γίνει καλύτερα και ευκολότερα η παρατήρηση της διακύμανσης των τιμών, στους Πίν. 4.3 και 4.5 δίνονται κάποια βασικά στατιστικά στοιχεία για

οξείδια των κύριων στοιχείων και τα ιχνοστοιχεία αντιστοίχως. Αυτά περιλαμβάνουν την μέση τιμή, την διάμεση τιμή, την τυπική απόκλιση, την μέγιστη όπως και την ελάχιστη τιμή.

Για την καλύτερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, υπολογίστηκε ο συντελεστής εμπλουτισμού των εξεταζόμενων δειγμάτων ο οποίος συγκρίνεται για κάθε οξείδιο κύριου στοιχείου ως προς την παγκόσμια μέση σύσταση του ηπειρωτικού φλοιού (Mason and Moore, 1982; Krauskopf and Bord, 1995) και ο συντελεστής ρύπανσης σε σύγκριση με την παγκόσμια μέση σύσταση των εδαφών (Hansford and Boerngen, 1984; Kabata-Pendias, 2011). Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα ιχνοστοιχεία. Διακρίθηκαν τέσσερεις τάξεις (Håkanson, 1980; Καντηράνης κ.ά., 2016) με βάση τις τιμές που προέκυψαν για τον συντελεστή εμπλουτισμού (σύγκριση με πετρώματα) και τον συντελεστή ρύπανσης (σύγκριση με εδάφη/ιζήματα):

<1: πτωχευμένο ή μη ρυπασμένο δείγμα

1-3: μέτρια εμπλουτισμένο ή ρυπασμένο δείγμα

3-6: σημαντικά εμπλουτισμένο ή ρυπασμένο δείγμα

>6: πολύ εμπλουτισμένο ή ρυπασμένο δείγμα

Πίνακας 4.3 Περιγραφική στατιστική των οξειδίων (% κ.β.) των κύριων στοιχείων του εδάφους.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
MEAN	41,68	0,62	10,73	5,89	0,12	5,79	15,32	1,63	0,23	0,17	17,46
MEDIAN	39,75	0,63	10,86	5,49	0,12	4,19	16,55	1,43	0,22	0,14	16,84
STDEV	10,58	0,18	2,65	1,39	0,03	3,39	8,22	0,62	0,08	0,16	6,85
MAX	65,31	1,06	15,37	8,71	0,21	13,55	33,25	2,93	0,38	0,75	29,66
MIN	23,87	0,34	6,40	3,73	0,06	1,25	1,28	0,78	0,08	0,00	2,24

Mean: Μέση τιμή, Median: Διάμεση τιμή, STDEV: Τυπική απόκλιση, Max: Μέγιστη τιμή, Min: Ελάχιστη τιμή.

Πίνακας 4.4: Περιεκτικότητες (% κ.β.), συντελεστές εμπλουτισμού και συντελεστές ρύπανσης για τα κύρια στοιχεία του εδάφους.

	SiO ₂			TiO ₂			Al ₂ O ₃			Fe ₂ O ₃			MnO			MgO		
Η.Φ.	60.20			0.70			15.20			6.70			0.10			3.10		
ΕΔ.	66.30	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	0.50	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	13.60	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	3.70	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	0.07	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	1.50	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.
Εδαφικά Δείγματα 0-10 cm - Σαριγκιόλ																		
2A	52.44	0.87	0.79	0.74	1.06	1.48	15.37	1.01	1.13	6.05	0.90	1.64	0.13	1.30	1.86	3.2	1.03	2.13
4A	36.21	0.60	0.55	0.64	0.91	1.28	9.91	0.65	0.73	5.85	0.87	1.58	0.15	1.50	2.14	9.63	3.11	6.42
5A	39.54	0.66	0.60	0.77	1.10	1.54	11.98	0.79	0.88	7.47	1.11	2.02	0.19	1.90	2.71	9.09	2.93	6.06
8A	28.38	0.47	0.43	0.56	0.80	1.12	7.76	0.51	0.57	5.51	0.82	1.49	0.11	1.10	1.57	10.85	3.50	7.23
11A	41.33	0.69	0.62	0.44	0.63	0.88	8.52	0.56	0.63	7.59	1.13	2.05	0.14	1.40	2.00	13.55	4.37	9.03
12A	36.38	0.60	0.55	0.51	0.73	1.02	9.76	0.64	0.72	5.4	0.81	1.46	0.14	1.40	2.00	2.98	0.96	1.99
15A	37.64	0.63	0.57	0.7	1.00	1.4	11.93	0.78	0.88	7.31	1.09	1.98	0.14	1.40	2.00	4.93	1.59	3.29
52A	39.96	0.66	0.60	0.7	1.00	1.4	11.52	0.76	0.85	6.28	0.94	1.70	0.1	1.00	1.43	6.23	2.01	4.15
54A	35.45	0.59	0.53	0.63	0.90	1.26	11.35	0.75	0.83	6.02	0.90	1.63	0.08	0.80	1.14	3.93	1.27	2.62
55A	47.29	0.79	0.71	0.82	1.17	1.64	13.79	0.91	1.01	7.94	1.19	2.15	0.1	1.00	1.43	4.36	1.41	2.91
56A	65.31	1.08	0.99	1.06	1.51	2.12	14.26	0.94	1.05	8.68	1.30	2.35	0.21	2.10	3.00	3.82	1.23	2.55
57A	54.51	0.91	0.82	0.94	1.34	1.88	14.91	0.98	1.10	8.71	1.30	2.35	0.08	0.80	1.14	4.02	1.30	2.68
59A	23.87	0.40	0.36	0.35	0.50	0.7	8.05	0.53	0.59	3.75	0.56	1.01	0.09	0.90	1.29	3.14	1.01	2.09
45A	63.73	1.06	0.96	0.7	1.00	1.4	11.88	0.78	0.87	5.38	0.80	1.45	0.09	0.90	1.29	1.25	0.40	0.83
43A	43.07	0.72	0.65	0.38	0.54	0.76	6.46	0.43	0.48	5.23	0.78	1.41	0.1	1.00	1.43	12.62	4.07	8.41
41A	54.15	0.90	0.82	0.63	0.90	1.26	11.43	0.75	0.84	5.3	0.79	1.43	0.12	1.20	1.71	3.86	1.25	2.57
13A	33.61	0.56	0.51	0.46	0.66	0.92	8.42	0.55	0.62	4.38	0.65	1.18	0.1	1.00	1.43	3.72	1.20	2.48
35A	26.21	0.44	0.40	0.34	0.49	0.68	6.4	0.42	0.47	3.73	0.56	1.01	0.09	0.90	1.29	4.45	1.44	2.97
36A	40.35	0.67	0.61	0.5	0.71	1	9.22	0.61	0.68	4.34	0.65	1.17	0.06	0.60	0.86	3.45	1.11	2.30
30A	37.96	0.63	0.57	0.59	0.84	1.18	10.37	0.68	0.76	5.08	0.76	1.37	0.12	1.20	1.71	3.02	0.97	2.01
38A	48.48	0.81	0.73	0.75	1.07	1.5	14.22	0.94	1.05	6.34	0.95	1.71	0.14	1.40	2.00	4.73	1.53	3.15
39A	48.23	0.80	0.73	0.67	0.96	1.34	13.44	0.88	0.99	5.46	0.81	1.48	0.13	1.30	1.86	3.41	1.10	2.27
19A	32.33	0.54	0.49	0.47	0.67	0.94	7.03	0.46	0.52	4.57	0.68	1.24	0.1	1.00	1.43	11.28	3.64	7.52
23A	33.81	0.56	0.51	0.54	0.77	1.08	9.54	0.63	0.70	4.92	0.73	1.33	0.12	1.20	1.71	7.49	2.42	4.99

Πίνακας 4.4: Συνέχεια.

Η.Φ. ΕΔ.	CaO			K2O			P2O5			SO3		
	5.50	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	2.90	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	0.24	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	0.50	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.
	3.40			1.80			0.10			1.60		
Εδαφικά Δείγματα 0-10 cm - Σαριγκιόλ												
2A	9.97	1.81	2.93	2.93	1.01	1.63	0.26	1.08	2.60	0.14	0.28	0.09
4A	19.85	3.61	5.84	1.37	0.47	0.76	0.37	1.54	3.70	0.15	0.30	0.09
5A	16.01	2.91	4.71	1.64	0.57	0.91	0.32	1.33	3.20	0.00	0.00	0.00
8A	25.58	4.65	7.52	0.91	0.31	0.51	0.20	0.83	2.00	0.00	0.00	0.00
11A	14.77	2.69	4.34	1.37	0.47	0.76	0.29	1.21	2.90	0.06	0.12	0.04
12A	24.25	4.41	7.13	1.12	0.39	0.62	0.18	0.75	1.80	0.10	0.20	0.06
15A	19.19	3.49	5.64	1.66	0.57	0.92	0.28	1.17	2.80	0.75	1.50	0.47
52A	18.45	3.35	5.43	1.41	0.49	0.78	0.23	0.96	2.30	0.33	0.66	0.21
54A	22.76	4.14	6.69	1.32	0.46	0.73	0.29	1.21	2.90	0.07	0.14	0.04
55A	12.43	2.26	3.66	2.46	0.85	1.37	0.26	1.08	2.60	0.06	0.12	0.04
56A	1.78	0.32	0.52	2.45	0.84	1.36	0.08	0.33	0.80	0.10	0.20	0.06
57A	7.19	1.31	2.11	2.83	0.98	1.57	0.17	0.71	1.70	0.08	0.16	0.05
59A	33.25	6.05	9.78	0.91	0.31	0.51	0.38	1.58	3.80	0.10	0.20	0.06
45A	1.28	0.23	0.38	1.46	0.50	0.81	0.12	0.50	1.20	0.05	0.10	0.03
43A	8.62	1.57	2.54	1.10	0.38	0.61	0.16	0.67	1.60	0.16	0.32	0.10
41A	4.60	0.84	1.35	1.99	0.69	1.11	0.30	1.25	3.00	0.13	0.26	0.08
13A	20.41	3.71	6.00	1.19	0.41	0.66	0.15	0.63	1.50	0.39	0.78	0.24
35A	28.25	5.14	8.31	1.02	0.35	0.57	0.15	0.63	1.50	0.30	0.60	0.19
36A	16.47	2.99	4.84	1.67	0.58	0.93	0.36	1.50	3.60	0.23	0.46	0.14
30A	17.02	3.09	5.01	1.31	0.45	0.73	0.18	0.75	1.80	0.25	0.50	0.16
38A	6.04	1.10	1.78	2.43	0.84	1.35	0.23	0.96	2.30	0.13	0.26	0.08
39A	6.25	1.14	1.84	2.39	0.82	1.33	0.19	0.79	1.90	0.14	0.28	0.09
19A	16.67	3.03	4.90	0.78	0.27	0.43	0.20	0.83	2.00	0.22	0.44	0.14
23A	16.63	3.02	4.89	1.44	0.50	0.80	0.20	0.83	2.00	0.24	0.48	0.15

Βάσει των παραπάνω πινάκων φαίνεται πως τα SiO_2 , Al_2O_3 και Fe_2O_3 κυμαίνονται κοντά ή χαμηλότερα από τις μέσες παγκόσμιες τιμές των εδαφών, ενώ η παρουσία τους συνδυαστικά με τις ορυκτολογικές αναλύσεις οφείλεται στο κλαστικό υλικό που βρίσκεται στην λεκάνη και προέρχεται από τη διάβρωση, μεταφορά και ακόλουθη απόθεση μέσα σε αυτήν των περιβαλλόντων πετρωμάτων (Καντηράνης κ.ά. 2016). Το TiO_2 παρουσιάζει ελαφρά αυξημένες τιμές στον συντελεστή ρύπανσης, όπως αντίστοιχα και το MnO με τον συντελεστή ενός μόνο δείγματος να αγγίζει το όριο του «σημαντικά ρυπασμένου». Το P_2O_5 φαίνεται και αυτό να παρουσιάζει ελαφρά αυξημένες τιμές του συντελεστή ρύπανσης, με 4 δείγματα να χαρακτηρίζονται ως σημαντικά ρυπασμένα. Τέλος τα K_2O και SO_3 παρουσιάζουν τιμές χαμηλότερες από αυτές του ηπειρωτικού φλοιού και της μέσης παγκόσμιας σύστασης των εδαφών σχεδόν σε όλα τα δείγματα που μετρήθηκαν.

Σημαντικός εμπλουτισμός φαίνεται να υπάρχει στα CaO και MgO συγκριτικά με τον ηπειρωτικό φλοιό και με την μέση παγκόσμια σύσταση των εδαφών, καθώς και τα δύο παρουσιάζουν τιμές σε ολόκληρο το εύρος της κλίμακας, από πτωχευμένα ή μη ρυπασμένα μέχρι και πολύ εμπλουτισμένα ή πολύ ρυπασμένα δείγματα. Φαίνεται λοιπόν ο σημαντικός βαθμός που τα περιβάλλοντα υπερβασικά/οφιολιθικά ή/και δολομιτικά πετρώματα, στην περίπτωση του MgO , και ανθρακικά πετρώματα, στην περίπτωση του CaO , που περιβάλλουν την λεκάνη επηρεάζουν τα εδάφη της (Καντηράνης κ.α. 2016). Στην συμμετοχή του CaO , δεν μπορεί να αγνοηθεί και η ύπαρξη ανθρωπογενούς επιβάρυνσης μέσω της συμμετοχής της ιπτάμενης τέφρας.

Σύμφωνα με τους Καντηράνης κ.ά. (2016), ο συντελεστής ρύπανσης του MgO εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές του στα ΒΒΔ και ΒΒΑ του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου, όπως και στα ΝΑ-ΒΔ τμήματα της λεκάνης Σαριγκιόλ. Ο συντελεστής εμπλουτισμού του CaO φαίνεται να παίρνει τις υψηλότερες τιμές του στα κέντρικά, ανατολικά και τα βόρεια τμήματα της λεκάνης, ιδιαίτερα στα ΒΔ του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου.

Πίνακας 4.5. Περιγραφική στατιστική των ιχνοστοιχείων (ppm) των εξεταζόμενων δειγμάτων εδάφους.

	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Ba	Pb	Th	U
MEAN	593,3	287,1	33,1	68,7	9,8	80,7	103,7	24,8	183,1	246,5	16,6	7,9	3,3
MEDIAN	395,0	248,5	32,0	67,5	9,0	65,5	103,0	24,0	175,0	196,0	17,0	8,3	2,2
STDEV	516,4	163,8	9,5	17,4	5,3	54,5	26,8	8,2	82,8	137,7	6,3	2,4	3,4
MAX	2230,0	803,0	52,0	105,0	26,0	220,0	167,0	48,0	438,0	803,0	32,0	12,1	12,0
MIN	33,0	80,0	16,0	41,0	2,0	15,0	14,0	13,0	72,0	107,0	3,0	4,0	0,5

Mean: Μέση τιμή, Median: Διάμεση τιμή, STDEV: Τυπική απόκλιση, Max: Μέγιστη τιμή, Min: Ελάχιστη τιμή.

Πίνακας 4.6: Περιεκτικότητες (ppm), συντελεστές εμπλουτισμού και συντελεστές ρύπανσης για τα ιχνοστοιχεία των εξεταζόμενων δειγμάτων εδάφους.

	Cr			Ni			Cu			Zn			As		
Η.Φ.	100.00			20.00			55.00			70.00			1.80		
ΕΔ.	59.50	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	29.00	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	38.90	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	70.00	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	6.80	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.
Εδαφικά Δείγματα 0-10 cm - Σαριγκιόλ															
2A	170	1.7	2.86	80	4	2.76	24	0.44	0.62	99	1.41	1.41	6	3.33	0.88
4A	327	3.27	5.50	187	9.35	6.45	36	0.65	0.93	56	0.80	0.80	16	8.89	2.35
5A	33	0.33	0.55	271	13.55	9.34	44	0.80	1.13	68	0.97	0.97	13	7.22	1.91
8A	385	3.85	6.47	213	10.65	7.34	32	0.58	0.82	47	0.67	0.67	15	8.33	2.21
11A	1024	10.24	17.21	803	40.15	27.69	52	0.95	1.34	63	0.90	0.90	5	2.78	0.74
12A	772	7.72	12.97	179	8.95	6.17	32	0.58	0.82	48	0.69	0.69	6	3.33	0.88
15A	469	4.69	7.88	250	12.5	8.62	42	0.76	1.08	71	1.01	1.01	9	5.00	1.32
52A	499	4.99	8.39	138	6.9	4.76	35	0.64	0.90	64	0.91	0.91	2	1.11	0.29
54A	360	3.6	6.05	213	10.65	7.34	39	0.71	1.00	67	0.96	0.96	5	2.78	0.74
55A	405	4.05	6.81	366	18.3	12.62	50	0.91	1.29	86	1.23	1.23	6	3.33	0.88
56A	1589	15.89	26.71	477	23.85	16.45	43	0.78	1.11	69	0.99	0.99	8	4.44	1.18
57A	474	4.74	7.97	391	19.55	13.48	47	0.85	1.21	84	1.20	1.20	4	2.22	0.59
59A	210	2.1	3.53	100	5	3.45	31	0.56	0.80	41	0.59	0.59	7	3.89	1.03
45A	1650	16.5	27.73	201	10.05	6.93	23	0.42	0.59	68	0.97	0.97	13	7.22	1.91
43A	2230	22.3	37.48	673	33.65	23.21	16	0.29	0.41	55	0.79	0.79	9	5.00	1.32
41A	769	7.69	12.92	313	15.65	10.79	31	0.56	0.80	89	1.27	1.27	9	5.00	1.32
13A	374	3.74	6.29	261	13.05	9.00	23	0.42	0.59	57	0.81	0.81	9	5.00	1.32
35A	381	3.81	6.40	303	15.15	10.45	21	0.38	0.54	46	0.66	0.66	8	4.44	1.18
36A	471	4.71	7.92	269	13.45	9.28	29	0.53	0.75	67	0.96	0.96	3	1.67	0.44
30A	382	3.82	6.42	233	11.65	8.03	24	0.44	0.62	72	1.03	1.03	12	6.67	1.76
38A	323	3.23	5.43	247	12.35	8.52	37	0.67	0.95	102	1.46	1.46	26	14.44	3.82
39A	243	2.43	4.08	144	7.2	4.97	30	0.55	0.77	105	1.50	1.50	11	6.11	1.62
19A	436	4.36	7.33	349	17.45	12.03	21	0.38	0.54	54	0.77	0.77	14	7.78	2.06
23A	263	2.63	4.42	230	11.5	7.93	33	0.60	0.85	70	1.00	1.00	18	10.00	2.65

Πίνακας 4.6: Συνέχεια.												
	Rb			Sr			Y			Zr		
Η.Φ.	90.00			375.00			33.00			165.00		
ΕΔ.	68.00	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	175.00	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	23.00	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	267.00	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.
Εδαφικά Δείγματα 0-10 cm - Σαριγκιόλ												
2A	118	1.31	1.74	81	0.22	0.46	48	1.45	2.09	438	2.65	1.64
4A	42	0.47	0.62	99	0.26	0.57	23	0.70	1.00	168	1.02	0.63
5A	57	0.63	0.84	89	0.24	0.51	26	0.79	1.13	184	1.12	0.69
8A	33	0.37	0.49	114	0.30	0.65	17	0.52	0.74	133	0.81	0.50
11A	43	0.48	0.63	73	0.19	0.42	19	0.58	0.83	130	0.79	0.49
12A	45	0.50	0.66	104	0.28	0.59	21	0.64	0.91	189	1.15	0.71
15A	61	0.68	0.90	115	0.31	0.66	28	0.85	1.22	203	1.23	0.76
52A	61	0.68	0.90	119	0.32	0.68	25	0.76	1.09	212	1.28	0.79
54A	74	0.82	1.09	167	0.45	0.95	25	0.76	1.09	166	1.01	0.62
55A	99	1.10	1.46	106	0.28	0.61	30	0.91	1.30	182	1.10	0.68
56A	91	1.01	1.34	113	0.30	0.65	39	1.18	1.70	385	2.33	1.44
57A	101	1.12	1.49	120	0.32	0.69	36	1.09	1.57	260	1.58	0.97
59A	36	0.40	0.53	14	0.04	0.08	31	0.94	1.35	195	1.18	0.73
45A	15	0.17	0.22	91	0.24	0.52	23	0.70	1.00	224	1.36	0.84
43A	15	0.17	0.22	87	0.23	0.50	13	0.39	0.57	114	0.69	0.43
41A	180	2.00	2.65	102	0.27	0.58	25	0.76	1.09	162	0.98	0.61
13A	70	0.78	1.03	123	0.33	0.70	17	0.52	0.74	103	0.62	0.39
35A	100	1.11	1.47	124	0.33	0.71	13	0.39	0.57	72	0.44	0.27
36A	110	1.22	1.62	138	0.37	0.79	19	0.58	0.83	118	0.72	0.44
30A	50	0.56	0.74	116	0.31	0.66	23	0.70	1.00	152	0.92	0.57
38A	220	2.44	3.24	95	0.25	0.54	28	0.85	1.22	189	1.15	0.71
39A	200	2.22	2.94	102	0.27	0.58	31	0.94	1.35	213	1.29	0.80
19A	15	0.17	0.22	100	0.27	0.57	14	0.42	0.61	90	0.55	0.34
23A	100	1.11	1.47	97	0.26	0.55	20	0.61	0.87	112	0.68	0.42

Πίνακας 4.6: Συνέχεια.												
	Ba			Pb			Th			U		
Η.Φ.	400.00	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	15.00	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	7.20	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.	2.00	Σ.ΕΜ.	Σ.ΕΠ.
ΕΔ.	460.00			27.00			9.20			3.00		
Εδαφικά Δείγματα 0-10 cm - Σαριγκιόλ												
2A	332	0.83	0.72	3	0.20	0.11	9	1.25	0.98	12	6	4.00
4A	112	0.28	0.24	15	1.00	0.56	8	1.11	0.87	1	0.5	0.33
5A	200	0.50	0.43	25	1.67	0.93	8	1.11	0.87	0.5	0.25	0.17
8A	140	0.35	0.30	10	0.67	0.37	4	0.56	0.43	0.5	0.25	0.17
11A	181	0.45	0.39	13	0.87	0.48	5	0.69	0.54	2.2	1.1	0.73
12A	155	0.39	0.34	19	1.27	0.70	4	0.56	0.43	0.5	0.25	0.17
15A	191	0.48	0.42	19	1.27	0.70	11	1.53	1.20	11	5.5	3.67
52A	172	0.43	0.37	23	1.53	0.85	9	1.25	0.98	2.2	1.1	0.73
54A	169	0.42	0.37	17	1.13	0.63	6	0.83	0.65	1.6	0.8	0.53
55A	185	0.46	0.40	17	1.13	0.63	10	1.39	1.09	2	1	0.67
56A	298	0.75	0.65	21	1.40	0.78	9	1.25	0.98	10	5	3.33
57A	239	0.60	0.52	21	1.40	0.78	9	1.25	0.98	9	4.5	3.00
59A	107	0.27	0.23	15	1.00	0.56	4	0.56	0.43	1.2	0.6	0.40
45A	320	0.80	0.70	18	1.20	0.67	11.4	1.58	1.24	2.6	1.3	0.87
43A	192	0.48	0.42	9	0.60	0.33	6.8	0.94	0.74	0.5	0.25	0.17
41A	349	0.87	0.76	19	1.27	0.70	9.3	1.29	1.01	2.5	1.25	0.83
13A	253	0.63	0.55	10	0.67	0.37	6.8	0.94	0.74	4.9	2.45	1.63
35A	171	0.43	0.37	11	0.73	0.41	4.7	0.65	0.51	1.2	0.6	0.40
36A	241	0.60	0.52	13	0.87	0.48	6.8	0.94	0.74	1.5	0.75	0.50
30A	306	0.77	0.67	19	1.27	0.70	9	1.25	0.98	3.9	1.95	1.30
38A	385	0.96	0.84	26	1.73	0.96	11.4	1.58	1.24	2.6	1.3	0.87
39A	803	2.01	1.75	32	2.13	1.19	12.1	1.68	1.32	2.5	1.25	0.83
19A	170	0.43	0.37	10	0.67	0.37	6.1	0.85	0.66	1.3	0.65	0.43
23A	246	0.62	0.53	13	0.87	0.48	8.6	1.19	0.93	2.1	1.05	0.70

Από τα παραπάνω, φαίνεται πως τα ιχνοστοιχεία με τον μεγαλύτερο συντελεστή εμπλουτισμού αποτελούν τα Cr, Ni και το As. Το Cr και το Ni έχουν λιθογενή προέλευση, προερχόμενα από την αποσάθρωση των οφιολιθικών πετρωμάτων που περιβάλλουν την περιοχή, γι' αυτό και οι τιμές των συντελεστών εμπλουτισμού και ρύπανσης για τα δύο αυτά στοιχεία είναι σε όλα σχεδόν τα δείγματα ιδιαίτερα αυξημένες. Ο συντελεστής ρύπανσης του Cr έχει τις υψηλότερες τιμές στα βόρεια, κεντρικά και δυτικά τμήματα της λεκάνης (Καντηράνης κ.ά., 2016). Όσον αφορά το Ni, ο συντελεστής ρύπανσης φαίνεται να έχει τις υψηλότερες τιμές σχεδόν σε όλο το μήκος της λεκάνης με εξαίρεση το ανατολικότερο και νοτιότερο άκρο της (Καντηράνης κ.ά. 2016). Τέλος, το As δείχνει να έχει σημαντική ρύπανση γύρω από την περιοχή του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου όπως και του Α9. Προηγούμενες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή, πρότειναν μια λιθογενή προέλευση του As, με πιθανή πηγή τα οφιολιθικά και αντίστοιχα μεταμορφωμένα πετρώματα (σερπεντινίτες) όμως με συνεισφορά ανθρωπογενούς προέλευσης κοντά στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (Nanos et al., 2015).

Όλα τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές, με τους συντελεστές ρύπανσης να κυμαίνονται μεταξύ μη ρυπασμένων και μέτρια ρυπασμένων δειγμάτων, με λίγες περιπτώσεις όπου κάποια δείγματα χαρακτηρίζονται ως σημαντικά ρυπασμένα. Η προέλευση των υπολοίπων ιχνοστοιχείων, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Ba, Pb, Th, U, έχει πιθανότατα σε μεγάλο βαθμό ανθρωπογενή προέλευση, καθώς, περιέχονται σε μετρήσιμες ποσότητες στους Ελληνικούς άνθρακες και κατά συνέπεια στην αιωρούμενη τέφρα που προκύπτει από την καύση αυτών (Georgakopoulos et al., 1996; Georgakopoulos et al., 2002 a, b; Γεωργακόπουλος κ.ά., 2002).

Οι συντελεστές εμπλουτισμού για το Ba και το Sr είναι <1 με μοναδική εξαίρεση ένα δείγμα Ba όπου φτάνει το 1.75. Ο Zn παρουσιάζει τιμές μεταξύ 0.66 και 1.5 για τον συντελεστή εμπλουτισμού του, ενώ το Rb να παρουσιάζει τιμές μεταξύ του 0.22 και 3.24. Σύμφωνα με τους Georgakopoulos et al (1996) και Γεωργακόπουλος κ.α. (2002) που διεξήγαγαν έρευνα σε επιφανειακά και αδιατάρακτα εδάφη της λεκάνης Πτολεμαΐδας, υπολόγισαν πως τα 4 αυτά ιχνοστοιχεία εμφανίζουν αυξημένες τιμές από τον παγκόσμιο μέσω όρο των εδαφών. Το αποτέλεσμα αυτό δεν φαίνεται να επαληθεύεται από την παρούσα μελέτη αν και σημαντικός παράγοντας μπορεί να αποτελεί ότι πολλά από τα παρόντα δείγματα λήφθηκαν μέσα από ενεργές γεωργικές περιοχές. Πέραν της ανθρωπογενούς προέλευσης των ιχνοστοιχείων αυτών, υπάρχει και λιθογενής συνεισφορά, καθώς στους ασβεστόλιθους και τους δολομίτες των ορεινών όγκων της περιοχής τα αφθονότερα ιχνοστοιχεία αποτελούν τα: Sr (μέση τιμή 375 ppm), Zn (29 ppm), Ni (26 ppm), Cr (11 ppm) και Ba (10 ppm) (Καντηράνης κ.ά., 1999, 2000α,β; Kantiranis et al., 1998, 1999, 2000).

Ο Pb και το Zr παρουσιάζουν χαμηλές τιμές του συντελεστή ρύπανσης, με την μεγάλη πλειοψηφία των δειγμάτων να χαρακτηρίζονται ως μη ρυπασμένα. Και τα δύο αυτά ιχνοστοιχεία βρίσκονται στα λιγνιτικά κοιτάσματα της περιοχής, άρα και

στην ιπτάμενη τέφρα των Α.Η.Σ. (Georgakopoulos et al., 2002 a,b). Στην περίπτωση του Zr δεν αποκλείεται να υπάρχει και ποσοστό συνεισφοράς από τα περιβάλλοντα αμμώδη ιζήματα της λεκάνης. Εξετάζοντας τον Cu, κάποια από τα δείγματα χαρακτηρίζονται ως μέτρια ρυπασμένα, παρόλα αυτά τα περισσότερα θεωρούνται μη ρυπασμένα. Η προέλευση είναι σε μεγάλο βαθμό ανθρωπογενής, καθώς ποσότητες Cu έχουν βρεθεί στην ιπτάμενη τέφρα των σταθμών της περιοχής (Georgakopoulos et al., 2002, a, b; Megalovasilis et al., 2016).

Στην περίπτωση του Y, πάνω από τα μισά δείγματα παρουσιάζουν τιμές του συντελεστή ρύπανσης μεταξύ 1 και 2, γεγονός που τα καθιστά μετρίως ρυπασμένα. Ο λιγνίτης που εξορύσσεται στην περιοχή της Πτολεμαΐδας έχει μετρηθεί πως περιέχει υπολογίσιμες ποσότητες Y και το ίδιο ισχύει και για τα παραπροϊόντα του, την ιπτάμενη τέφρα και την τέφρα της εσχάρας (Georgakopoulos et al., 1994, Adamidou et al., 2007, Megalovasilis et al., 2013). Το Th αντίθετα, παρουσιάζει τιμές του συντελεστή ρύπανσης μεταξύ 0,43-1,32, αν και τα περισσότερα δείγματα έχουν συντελεστή ρύπανσης <1, καθιστώντας τα μη ρυπασμένα, ενώ έξι από αυτά χαρακτηρίζονται μετρίως ρυπασμένα. Τέλος, για το U αν και ο συντελεστής ρύπανσης των περισσότερων δειγμάτων είναι <1, με ορισμένες τιμές να προσεγγίζουν και το 0, δύο από τα δείγματα χαρακτηρίζονται ως μέτρια ρυπασμένα, ενώ τέσσερα επιπλέον δείγματα ως σημαντικά ρυπασμένα. Τέλος, όσον αφορά το U, οι συγκεντρώσεις και ο συντελεστής ρύπανσης είναι συγκρίσιμοι αν και λίγο χαμηλότεροι από προηγούμενες μελέτες για την εξεταζόμενη περιοχή (Georgakopoulos et al., 1994, Megalovasilis et al., 2013, Καντηράνης κ.ά., 2016). Το Th αντίθετα φαίνεται να παρουσιάζει γενικά χαμηλότερες τιμές στα παρόντα δείγματα, έναντι αυτών που μετρήθηκαν στο παρελθόν με αντίστοιχα χαμηλότερους συντελεστές ρύπανσης (Megalovasilis et al., 2013, Καντηράνης κ.ά., 2016). Πέραν της ανθρωπογενούς προέλευσης υπάρχει και λιθογενής συνεισφορά στα εδάφη για το U και το Th, καθώς έχουν βρεθεί ως ιχνοστοιχεία σε περιβάλλοντα πετρώματα όπως σε σχιστόλιθους (Megalovasilis et al., 2013).

4.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ U ΚΑΙ ΤΟΥ Th

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα συσχετισμού του U και του Th με τα ορυκτά που προέκυψαν από την ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων, και τα οξειδία των κύριων στοιχείων και τα ιχνοστοιχεία που μετρήθηκαν κατά την χημική ανάλυση. Στο παρόν κεφάλαιο, όλα τα διαγράμματα, Σχ. 4.1 - 4.19, που παρουσιάζονται δεν περιέχουν τον πλήρη αριθμό των δειγμάτων (n=24), αλλά έχουν αφαιρεθεί κατά περίπτωση ακραίες τιμές (outliers) που διατάρασσαν σε σημαντικό βαθμό την στατιστική ανάλυση. Στο Παράρτημα I της παρούσας εργασίας, εντοπίζονται τα ίδια διαγράμματα χωρίς να έχουν αφαιρεθεί οι ακραίες τιμές τους. Εξαίρεση αποτελούν τα διαγράμματα των πυροξένων και των αργιλικών ορυκτών που παρουσιάζονται μόνο στο παρόν κεφάλαιο και όχι στο παράρτημα καθώς δεν

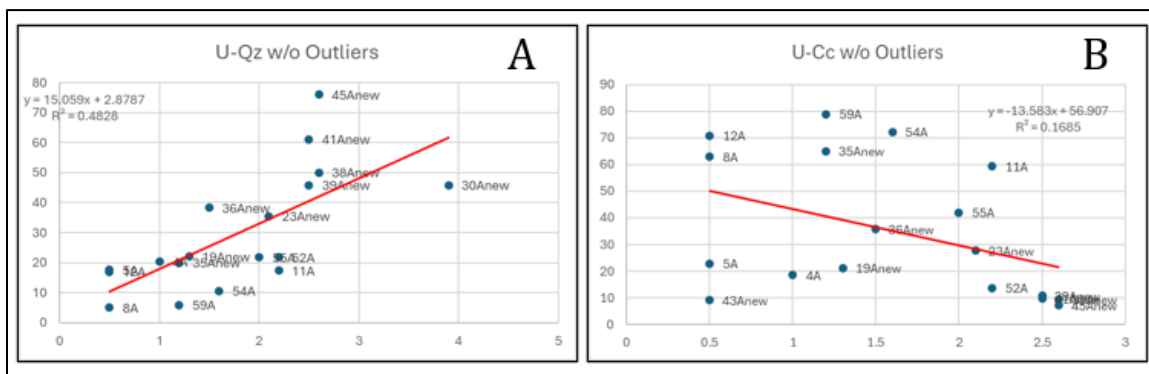
υπήρχαν ακραίες τιμές που μπορούσαν να αφαιρεθούν λόγω του εξαιρετικά μικρού αριθμού δειγμάτων περιείχαν τα ορυκτά.

Πάνω σε κάθε διάγραμμα συσχετισμού βρίσκεται η γραμμή τάσης μαζί με την εξίσωση που την χαρακτηρίζει και τέλος ο συντελεστής R^2 του συσχετισμού. Στόχος της διαδικασίας αυτής είναι η εύρεση μιας θετικής τάσης με καλή συσχέτιση με σκοπό να εντοπιστεί η πιθανή πηγή ή κάποια ένδειξη που να οδηγεί προς την πιθανή πηγή του U και του Th στα εδάφη της λεκάνης.

4.3.1 Συσχετισμός U & Th με ορυκτές φάσεις

4.3.1.1 Συσχετισμός U με ορυκτές φάσεις

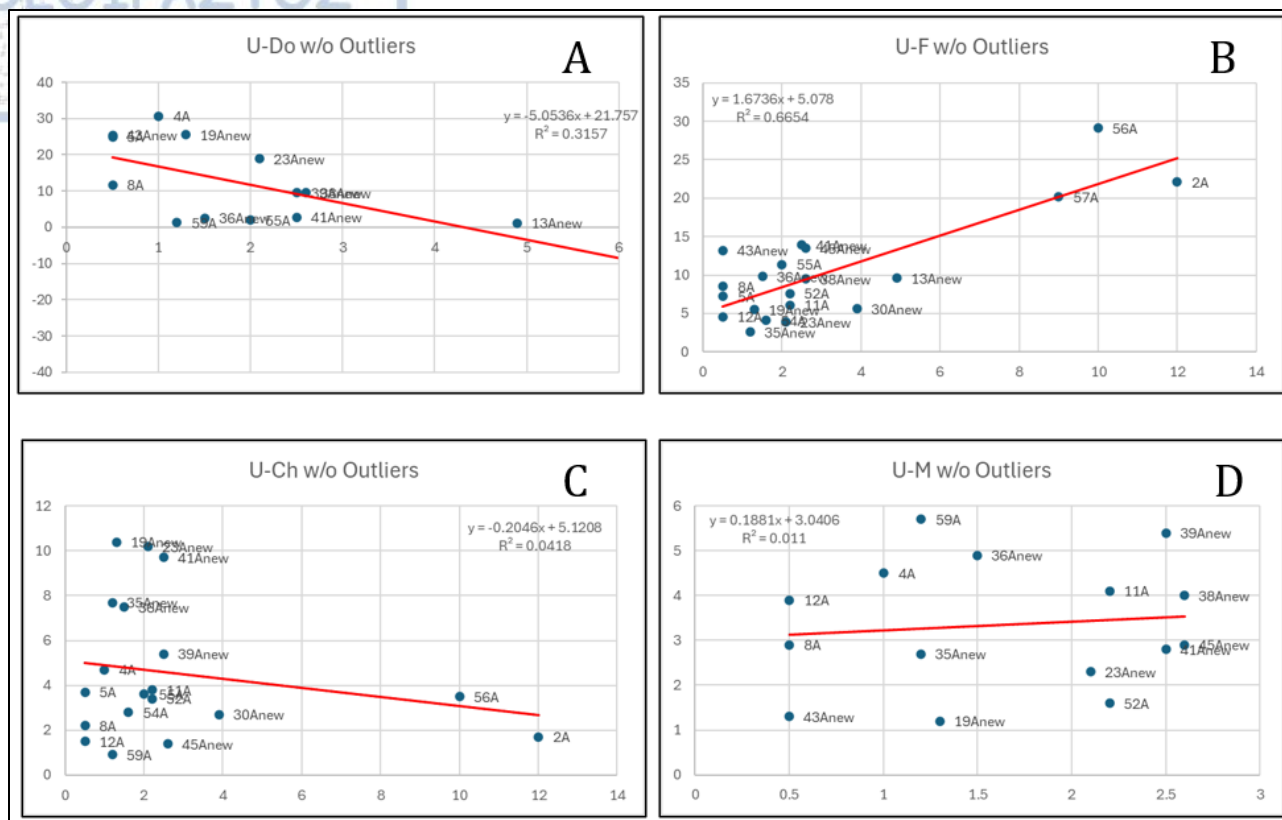
Στο Σχ. 4.1 (a) και (b) φαίνεται ο συσχετισμός του U με τον χαλαζία και τον ασβεστίτη αντιστοίχως. Στην περίπτωση του χαλαζία φαίνεται να υπάρχει μια ήπια θετική συσχέτιση, με τον συντελεστή R^2 να προσεγγίζει το 0.5, ενώ στην περίπτωση του ασβεστίτη η συσχέτιση φαίνεται να είναι αρνητική αν και αδύναμη με τον συντελεστή R^2 να φτάνει μόλις το 0.16.



Σχήμα 4.1: (a) Συσχετισμός U με χαλαζία, (b) Συσχετισμός U με ασβεστίτη.

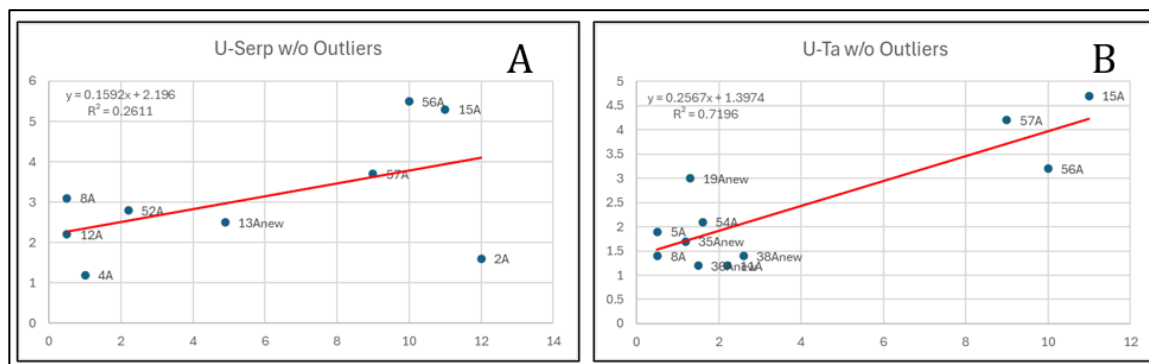
Στο Σχ. 4.2 (a) ο συσχετισμός του U με το δολομίτη φαίνεται να είναι αρνητικός με R^2 0.22. Μια πιο έντονη αρνητική τάση φαίνεται να υπάρχει στα δείγματα 4A, 5A, 19A, 43A και 23A, αλλά περισσότερα δείγματα θα ήταν αναγκαία για να αποδειχθεί μια πιο καλή συσχέτιση. Στο Σχ. 4.2 (b) βάση του συντελεστή R^2 (=0,66) προκύπτει μια ισχυρή συσχέτιση με τους αστρίους (πλαγιόκλαστα και καλιούχοι άστριοι). Προηγούμενες έρευνες, έχουν δείξει την ικανότητα των αστρίων να απορροφούν ή να φέρουν ποσότητες U πάνω τους (Zhao and Li, 2004; Ding et al., 2014).

Στα Σχ. 4.2 (c) και (d) φαίνεται ο συσχετισμός του U με τον χλωρίτη (χλωρίτης και καολίνης) και του U με τον μοσχοβίτη αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις φαίνεται να υπάρχει ένας πολύ αδύναμος συσχετισμός, και πρακτικά καμία κοινή προέλευση των δύο ορυκτών με το ιχνοστοιχείο.



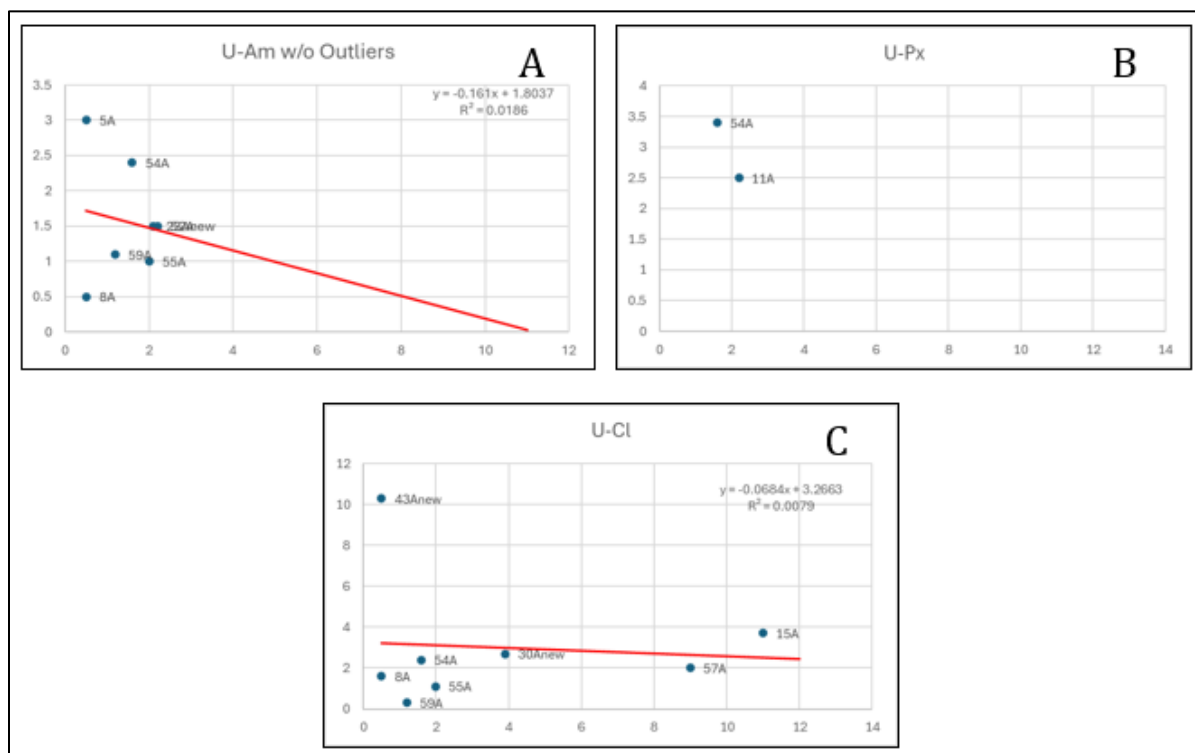
Σχήμα 4.2: (α) Συσχετισμός U με δολομίτη, (β) Συσχετισμός U με αστρίους, (γ) Συσχετισμός U με μοσχοβίτη χλωρίτη, (δ) Συσχετισμός U με χλωρίτη.

Στα παρακάτω διαγράμματα, Σχ. 4.3 (α) και (β) γίνεται ο συσχετισμός του U με τον σερπεντίνη και τον τάλκη, αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις η συσχέτιση φαίνεται να είναι θετική με τον συντελεστή R^2 0.26 για τον σερπεντίνη και 0.71 για τον τάλκη, αλλά με πολύ μικρό αριθμό δειγμάτων.



Σχήμα 4.3: (α) Συσχετισμός U με σερπεντίνη, (β) Συσχετισμός U με τάλκη.

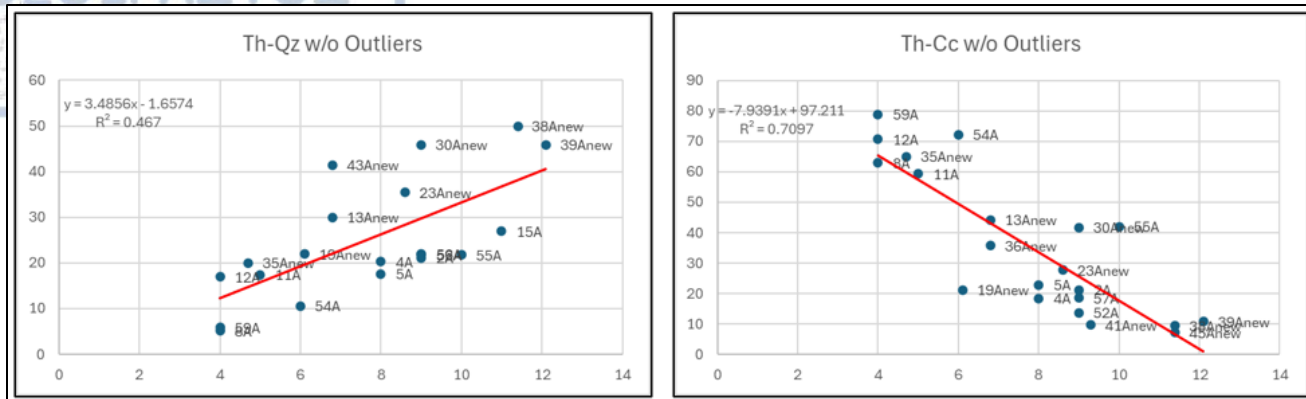
Τέλος στα Σχ. 4.4 (a), (b) και (c) φαίνεται ο συσχετισμός του U με τις αμφιβόλους, τους πυροξένους και τα αργιλικά ορυκτά. Τα διαγράμματα αυτά δεν παρουσιάζουν κάποια πραγματική αξία καθώς ο αριθμός των δειγμάτων που περιείχαν τα προαναφερθέντα ορυκτά ήταν ιδιαίτερα μικρό, αλλά και γιατί η συσχέτιση είναι ασήμαντη.



Σχήμα 4.4: (a) Συσχετισμός U με αμφιβόλους, (b) Συσχετισμός U με πυροξένους, (c) Συσχετισμός U με αργιλικά ορυκτά.

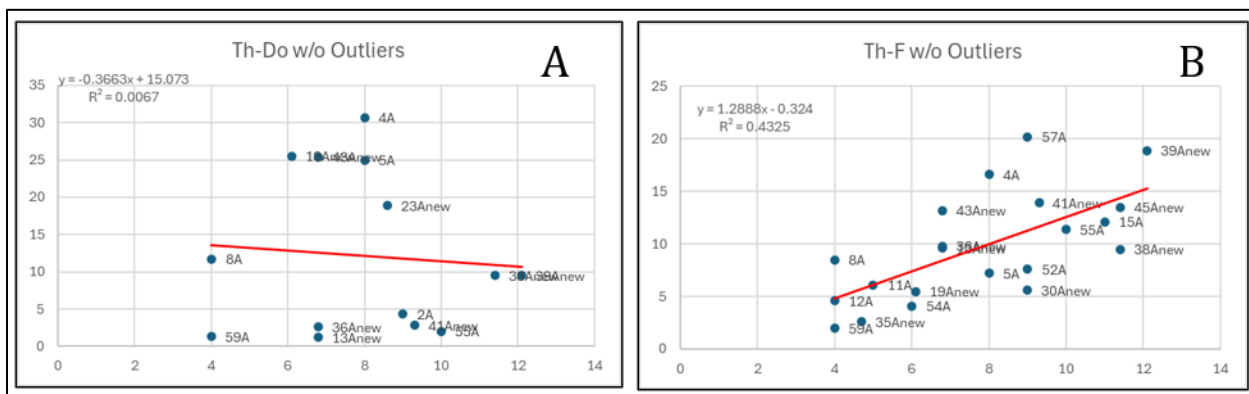
4.3.1.2 Συσχετισμός Th με ορυκτές φάσεις

Στο Σχ. 4.5 (a) το Th δείχνει να έχει παρόμοιο συντελεστή συσχετισμού με τον χαλαζία ($R^2=0.47$) όπως και το U, με μια γραμμική θετική σχέση ανάμεσα τους. Στην περίπτωση του ασβεστίτη (Σχ. 4.5 (b)), φαίνεται να υπάρχει μια ισχυρή αρνητική συσχέτιση μεταξύ αυτού και του Th, με τον συντελεστή R^2 να προσεγγίζει το 0.7, πολύ πιο ξεκάθαρη από την περίπτωση του U-Cc.



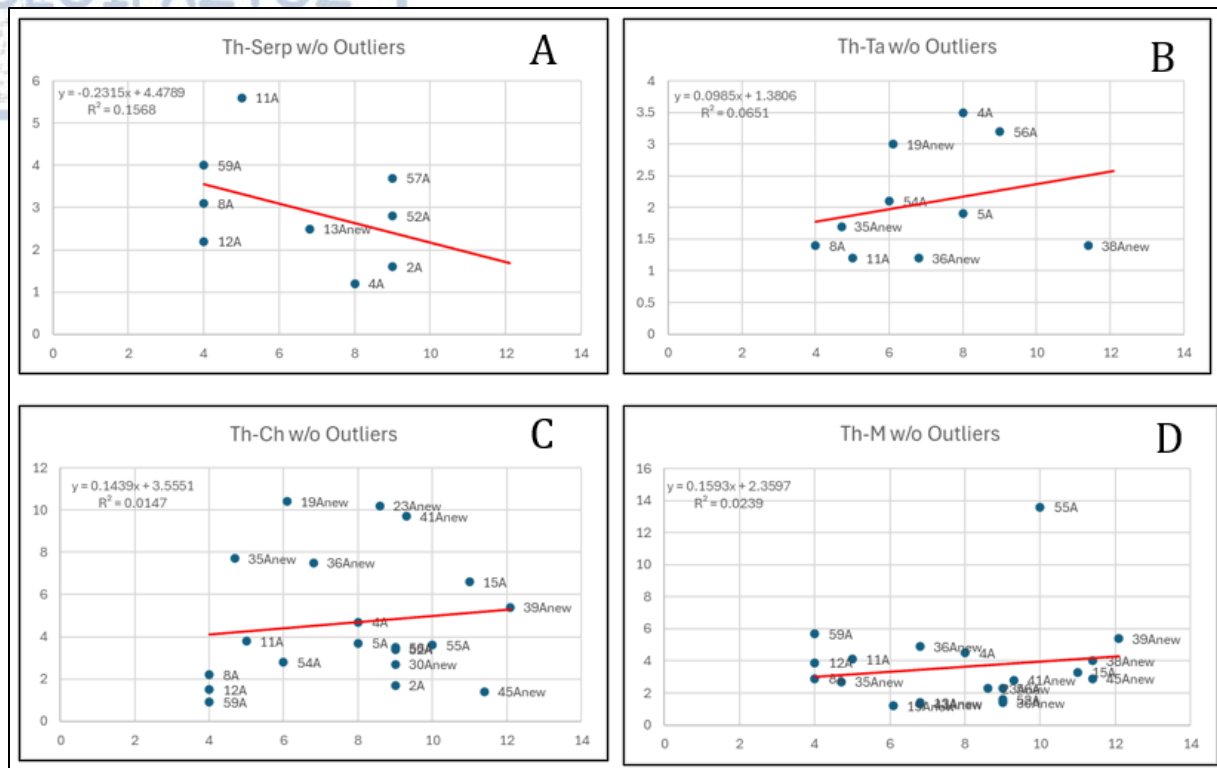
Σχήμα 4.5: (α) Συσχετισμός Th με χαλαζίτα, (β) Συσχετισμός Th με ασβεσίτη.

Παρακάτω, στα Σχ. 4.6 (α) και (β), παρουσιάζονται οι συσχετίσεις του Th με δολομίτη και αστρίους αντιστοίχως. Τα δείγματα του δολομίτη βρίσκονται αρκετά διάσπαρτα στο διάγραμμα συσχετισμού, γεγονός που οδηγεί σε μια πρακτικά μηδενική συσχέτιση. Αντίθετα, στην περίπτωση των αστρίων ο συντελεστής R^2 ξεπερνά το 0.43 δείχνοντας μια ήπια αν και ξεκάθαρη τάση αύξησης του Th μαζί με τους αστρίους. Οι άστριοι έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν ή να φέρουν πάνω τους ποσότητες Th, όπως έχουν δείξει προηγούμενες μελέτες (Ding et al., 2014; Iida et al., 2016)



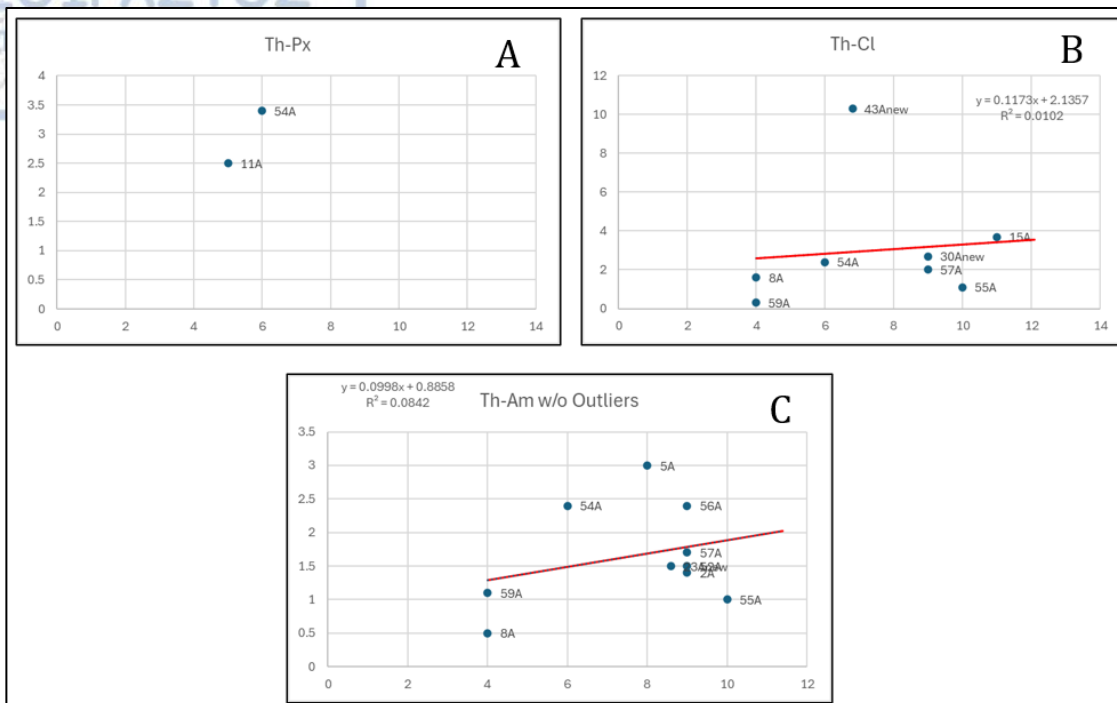
Σχήμα 4.6: (α) Συσχετισμός Th με δολομίτη, (β) Συσχετισμός Th με αστρίους.

Ο χλωρίτης και ο μοσχοβίτης δεν παρουσιάζουν κάποια συσχέτιση με το Th, όπως παρατηρήθηκε και στη συσχέτιση με το U. Η γραμμή τάσης στα διαγράμματα και των δύο αυτών ορυκτών είναι υποπαράλληλη με τον άξονα x και ο συντελεστής R^2 δεν ξεπερνάει το 0.1, όπως φαίνεται στα Σχ. 4.7 (α) και (β). Στην περίπτωση του Th, ο σερπεντίνης παρουσιάζει αδύναμο αρνητικό συσχετισμό (R^2 0,15) και ο τάλκης πολύ αδύναμο θετικό συσχετισμό (R^2 0.06). Τα διαγράμματα συσχετισμού αυτών των ορυκτών παρουσιάζονται παρακάτω στα Σχ. 4.7 (c) και (d).



Σχήμα 4.7: (a) Συσχετισμός Th με σερπεντίνη, (b) Συσχετισμός Th με τάλκη, (c) Συσχετισμός Th με χλωρίτη, (d) Συσχετισμός Th με μοσχοβίτη.

Τέλος, όπως και προηγουμένως, και στην περίπτωση του Th οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι, και τα αργιλικά ορυκτά δεν παρουσιάζουν αξιόλογα συσχετίσεις καθώς ο αριθμός των δειγμάτων που περιείχαν τα συγκεκριμένα ορυκτά ήταν ιδιαίτερα μικρός, όπως φαίνεται και στα Σχ. 4.8 (a), (b) και (c).

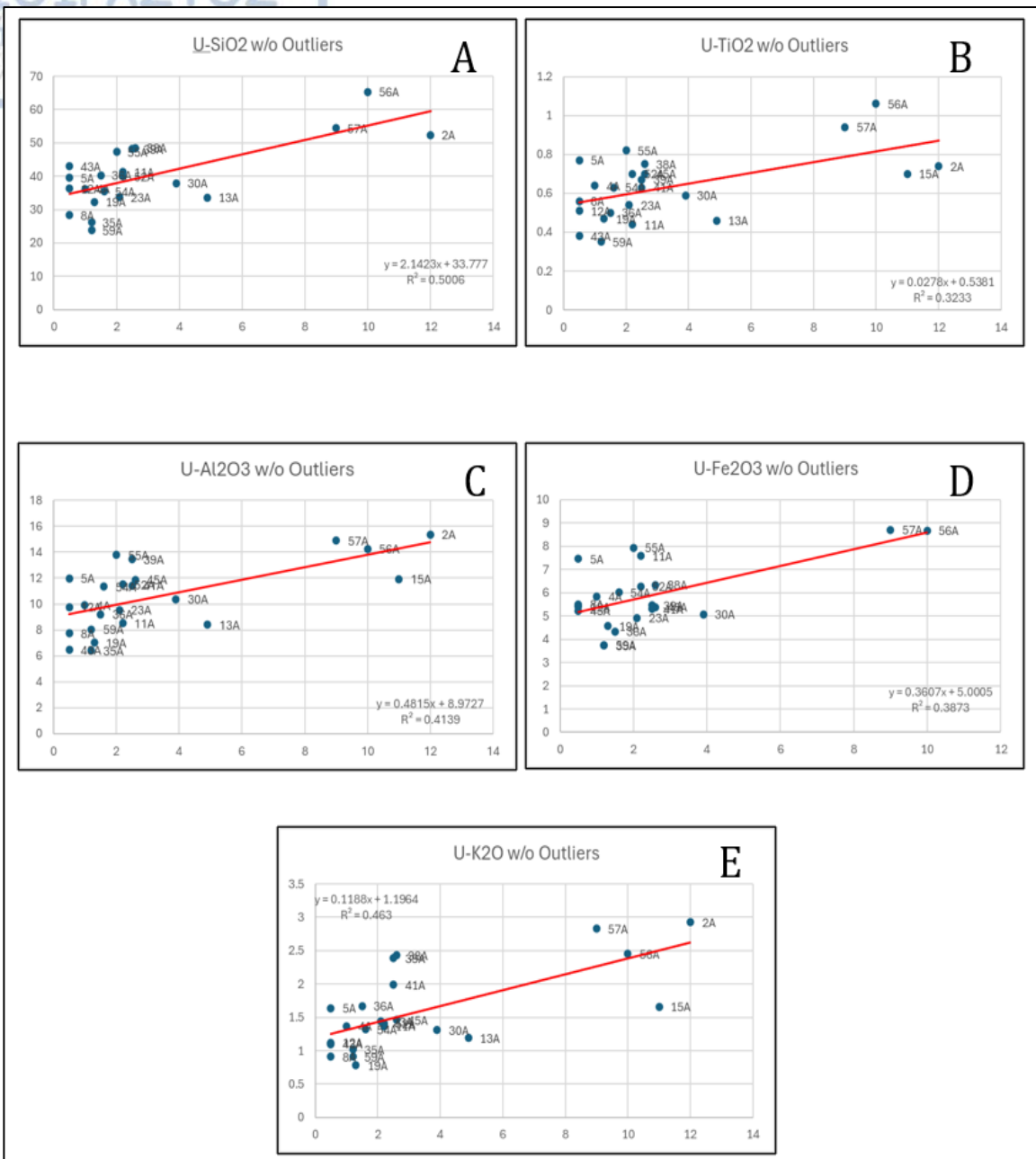


Σχήμα 4.8: (a) Συσχετισμός Th με πυροξένους, (b) Συσχετισμός Th με αργιλικά ορυκτά, (c) : Συσχετισμός Th με αμφίβολους

4.3.2 Συσχετισμός U & Th με Κύρια Στοιχεία

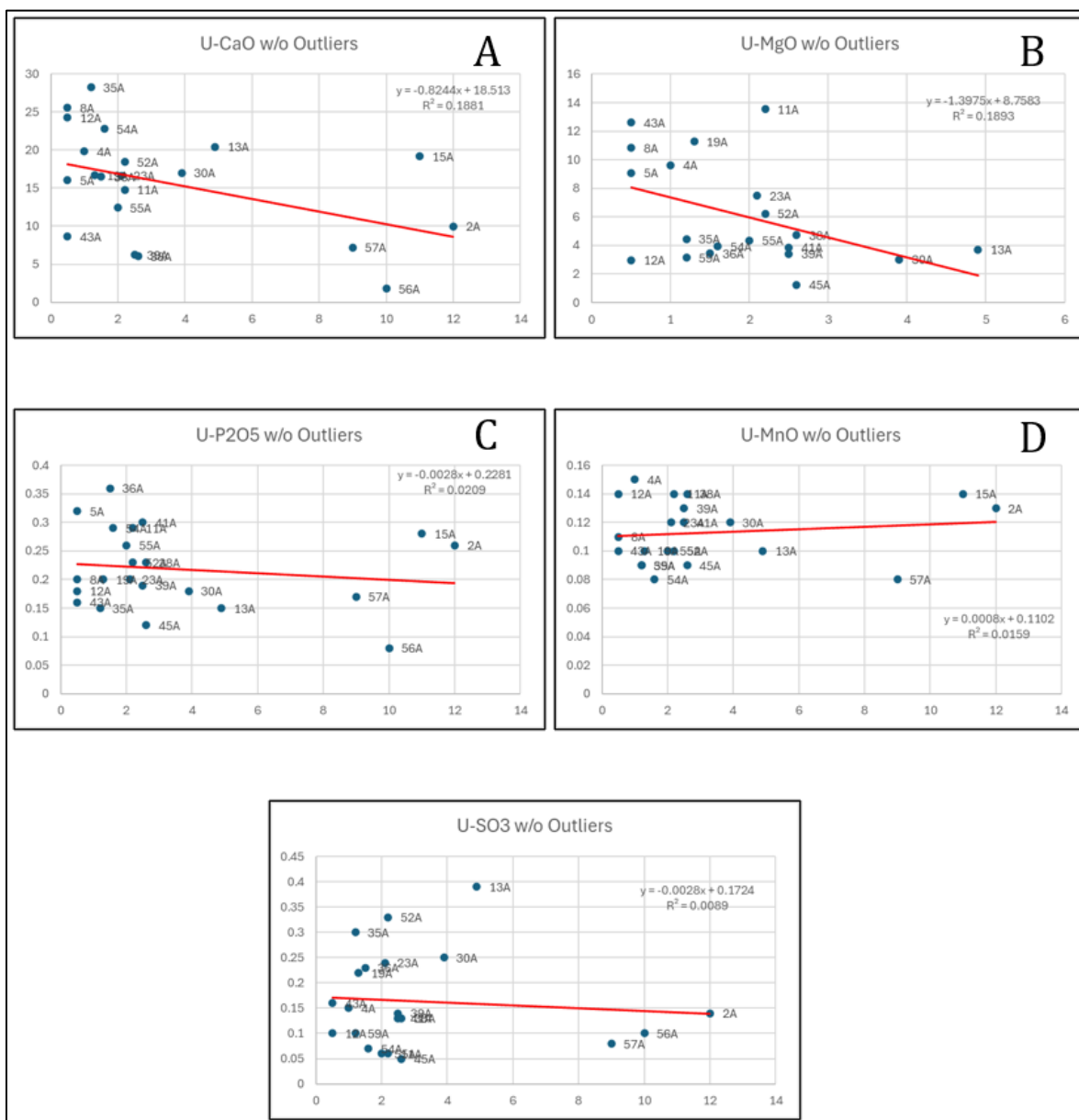
4.3.2.1 Συσχετισμός U με Κύρια Στοιχεία

Εξετάζοντας το U, φαίνεται πως παρουσιάζει έναν σχετικά ισχυρό συσχετισμό με το SiO_2 (Σχ. 4.9 (a)) με συντελεστή συσχετισμού που φτάνει το 0.5. Αντίστοιχη φαίνεται να είναι η εικόνα και για το TiO_2 (Σχ. 4.9 (b)) και το Fe_2O_{3t} (Σχ. 4.9 (d)) καθώς παρουσιάζουν μια ήπια θετική τάση με συντελεστή συσχετισμού 0.32 και 0.38 αντίστοιχα. Το Al_2O_3 (Σχ. 4.9 (c)) παρουσιάζει και αυτό θετική τάση με σχετικά ισχυρή συσχέτιση ($R^2 = 0.52$) αν και εμφανίζει αντίστοιχη εικόνα με το SiO_2 . Τέλος, το K_2O (Σχ. 4.9 (e)) παρουσιάζει θετική τάση, με σχετικά ισχυρή συσχέτιση με συντελεστή R^2 0.46.



Σχήμα 4.9: (a) Συσχετισμός U με SiO₂, (b) Συσχετισμός U με TiO₂, (c) : Συσχετισμός U με Al₂O₃, (d) Συσχετισμός U με Fe₂O₃, (e) Συσχετισμός U με K₂O.

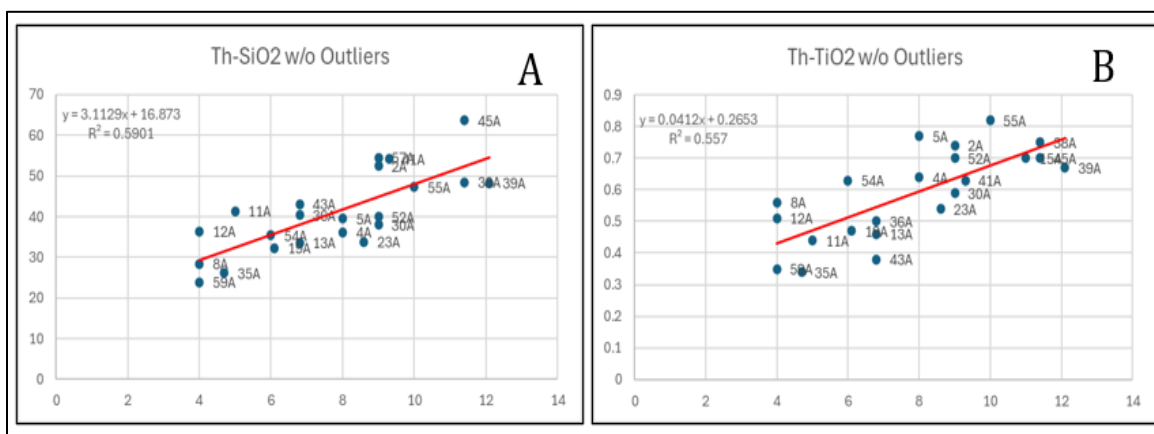
Το CaO και το MgO (Σχ. 4.10 (a) και (b) αντίστοιχα) παρουσιάζουν αρνητική τάση με χαμηλή τιμή του συντελεστή συσχέτισης R^2 , με τις τιμές και για τα δύο να είναι το 0.18. Τέλος, στα διαγράμματα συσχέτισμού για τα οξείδια MnO, P₂O₅ και SO₃ (Σχ. 4.10 (c), (d) και (e)) δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια συσχέτιση με το U, καθώς και στις τρεις περιπτώσεις η γραμμή τάσης λαμβάνει τιμές R^2 εξαιρετικά μικρές (0.01, 0.02 και 0 αντίστοιχα).



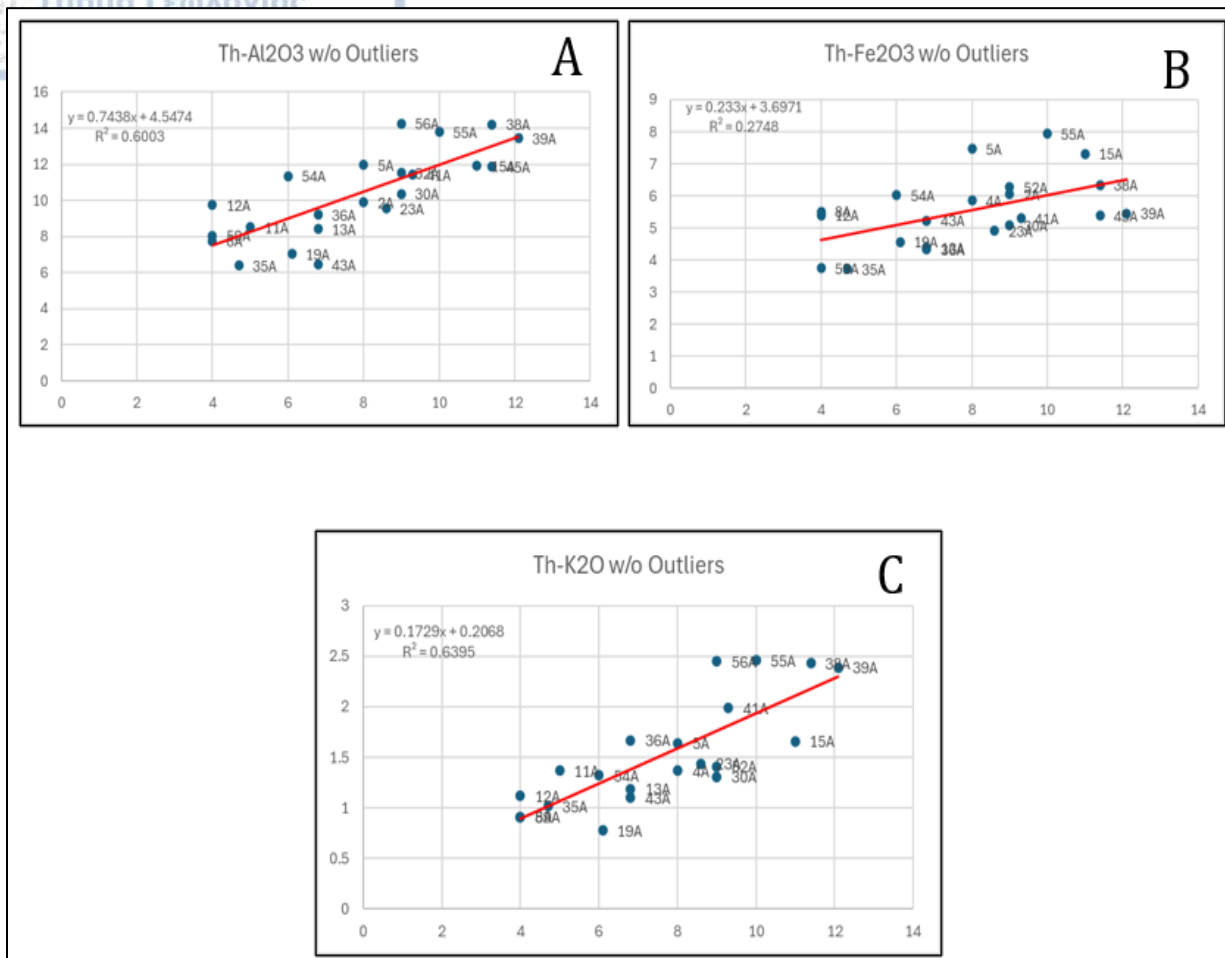
Σχήμα 4.10: (a) Συσχετισμός U με CaO, (b) Συσχετισμός U με MgO, (c) Συσχετισμός U με MnO, (d) Συσχετισμός U με P₂O₅, (e) Συσχετισμός U με SO₃.

4.3.2.2 Συσχετισμός Th με Κύρια Στοιχεία

Εξετάζοντας τον συσχετισμό του Th με τα οξείδια των κύριων στοιχείων προκύπτει μια εικόνα ανάλογη αυτής που φάνηκε και στον συσχετισμό του U, αν και πιο ξεκάθαρη με καλύτερους συντελεστές συσχετισμού και πιο εμφανείς τάσεις. Το Th παρουσιάζει μια ξεκάθαρη αυξητική τάση με το SiO_2 (Σχ. 4.11 (a)) και ο συντελεστής συσχετισμού R^2 φτάνει το 0.59. Αντίστοιχα καλύτερη εικόνα παρατηρείται και για το TiO_2 (Σχ. 4.11 (b)) όπου υπάρχει ισχυρή θετική τάση και ο συντελεστής συσχέτισης R^2 φτάνει το 0.56. Το Al_2O_3 και το K_2O , παρουσιάζονται στα Σχ. 4.12 (a) και (c) αντιστοίχως, δείχνοντας εξίσου ισχυρές θετικές τάσεις και το R^2 του καθενός να ξεπερνάει το 0.6. Τέλος, το Fe_2O_3 αν και αποκτά πιο ξεκάθαρη τάση από αυτή που είχε συσχετιζόμενο με το U, δείχνει μια μείωση στο R^2 , με την τιμή του να φτάνει το 0.27 (Σχ. 4.12 (b)). Οι υψηλές τιμές του συντελεστή R^2 για τα SiO_2 , Al_2O_3 και K_2O μπορούν να ερμηνευθούν από την υψηλή συσχέτιση του Th με τους αστρίους. Το Ti_2O έχει βρεθεί πως μπορεί να αποτελέσει φορέα του Th (Priya et al., 2024) με την παρουσία μπορεί να αποδοθεί στους πυροξένους και στις αμφιβόλους.

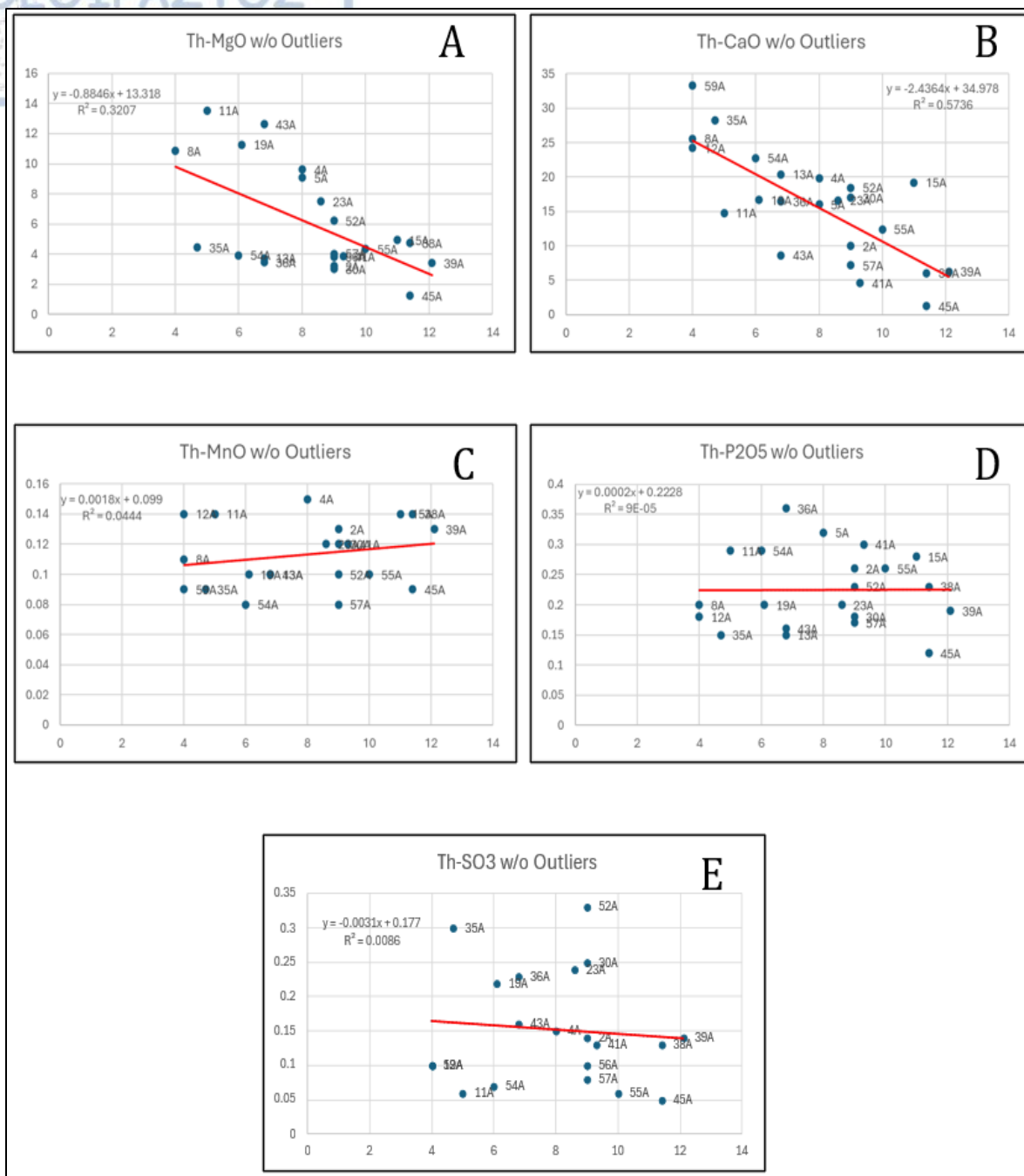


Σχήμα 4.11: (a) Συσχετισμός Th με SiO_2 , (b) Συσχετισμός Th με TiO_2 .



Σχήμα 4.12: (α) Συσχετισμός Th με Al₂O₃, (β) Συσχετισμός Th με Fe₂O₃, (γ) Συσχετισμός Th με K₂O.

Το Th όταν συσχετίζεται με τα MgO (Σχ. 4.13 (α)) και το CaO (Σχ. 4.13 (β)) παρουσιάζουν μια πολύ εμφανή αρνητική τάση, πολύ πιο ξεκάθαρη με αυτή του U, και ικανοποιητικούς συντελεστές συσχετισμού καθώς για το MgO φτάνει το 0.32 ενώ για CaO φτάνει το 0.57. Τέλος, τα οξείδια MnO, P₂O₅ και SO₃, τα διαγράμματα των οποίων φαίνονται στα Σχ. 4.13 (γ), (δ) και (ε) αντίστοιχα, όπως και με το U, δεν παρουσιάζουν καμία θετική ή αρνητική τάση. Η γραμμή τάσης στα διαγράμματα του καθενός, δείχνει συντελεστές R² που δεν ξεπερνάνε το 0.05.



Σχήμα 4.13: (α) Συσχετισμός Th με MgO, (β) Συσχετισμός Th με CaO, (γ) Συσχετισμός Th με MnO, (δ) Συσχετισμός Th με P₂O₅, (ε) Συσχετισμός Th με SO₃.

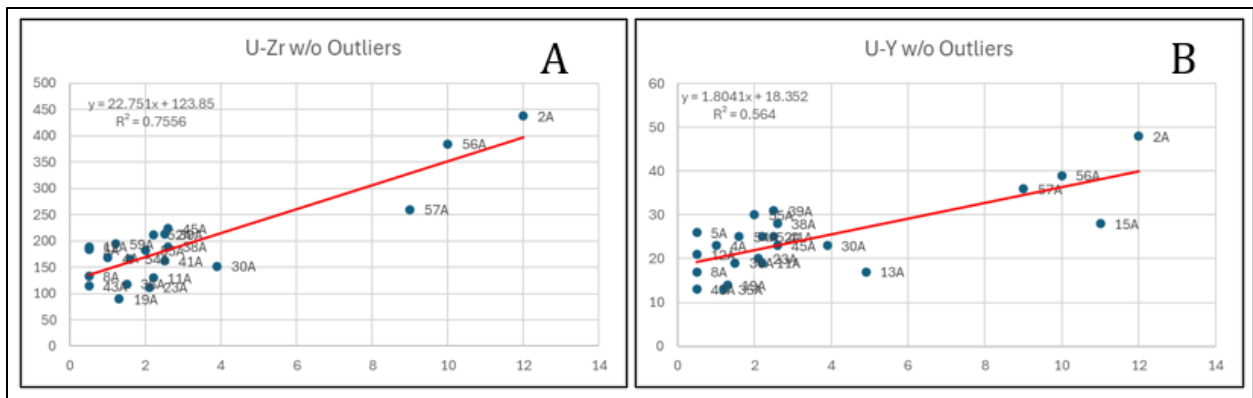
4.3.3 Συσχετισμός U & Th με Ιχνοστοιχεία

4.3.3.1 Συσχετισμός U με Ιχνοστοιχεία

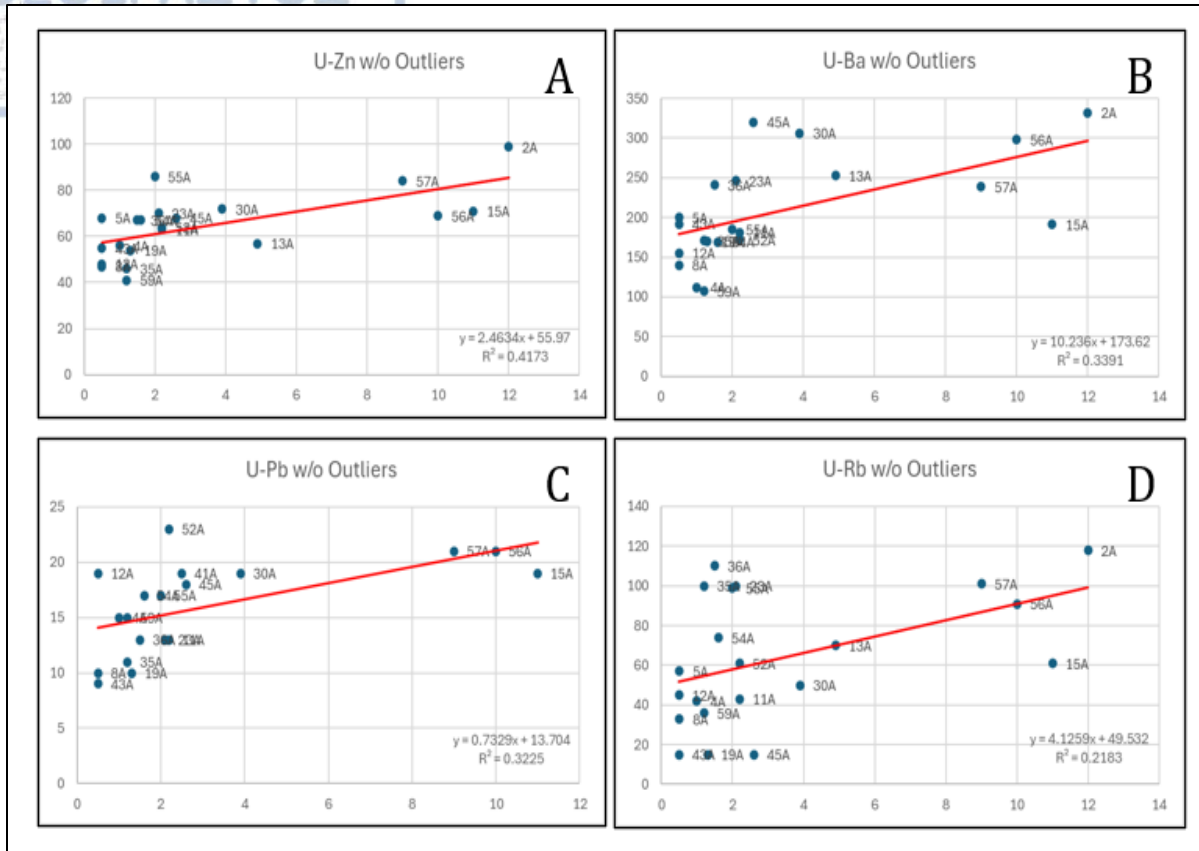
Κατά τον συσχετισμό του U με τα ιχνοστοιχεία που μετρήθηκαν παρατηρήθηκαν δύο τάσεις, ιχνοστοιχεία με τα οποία το U παρουσιάζει μια μέτρια έως πολύ ισχυρή αυξητική συσχέτιση και ιχνοστοιχεία με τα οποία δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια σημαντική συσχέτιση, είτε αρνητική είτε θετική.

Η περίπτωση του Zr, παρατηρώντας το Σχήμα 4.14 (a), κατατάσσεται στην πρώτη κατηγορία. Η γραμμή τάσης φαίνεται να είναι ξεκάθαρα θετική με τον συντελεστή συσχέτισης R^2 να φτάνει το 0.75, μια ιδιαίτερα ψηλή τιμή συγκριτικά με προηγούμενα διαγράμματα. Μελέτες έχουν δείξει πως το ζirkόνιο μπορεί να φέρει πάνω του σημαντικές ποσότητες U, έτσι μπορεί να αποδοθεί και η σχέση μεταξύ Zr και U (Houchin et al., 2024). Η ύπαρξη ζirkονίων θα μπορούσε να αποδοθεί στα αμμώδη ιζήματα της λεκάνης. Αυξητική τάση φαίνεται να υπάρχει και στον συσχετισμό του U με τα Y (Σχ. 4.14 (b)) και Zn (Σχ. 5.15(a)). Ο συντελεστής R^2 και στα δύο ιχνοστοιχεία αποδίδει ισχυρή και μέτρια συσχέτιση αντίστοιχα.

Τέλος, όσον αφορά τα ιχνοστοιχεία που παρουσιάζουν θετική τάση μαζί με το U, ανήκουν και το Ba, ο Pb και το Rb. Τα δύο πρώτα παρουσιάζουν έναν μέτριο προς αδύναμο συσχετισμό, καθώς η τιμή του συντελεστή συσχέτισης R^2 και των δύο βρίσκεται στο 0.33 (Σχ. 4.15 (b) και (c)) ενώ στην περίπτωση του Rb (Σχ. 4.15 (d)) η συσχέτιση φαίνεται να είναι αδύναμη με το R^2 να φτάνει μόλις το 0.21.

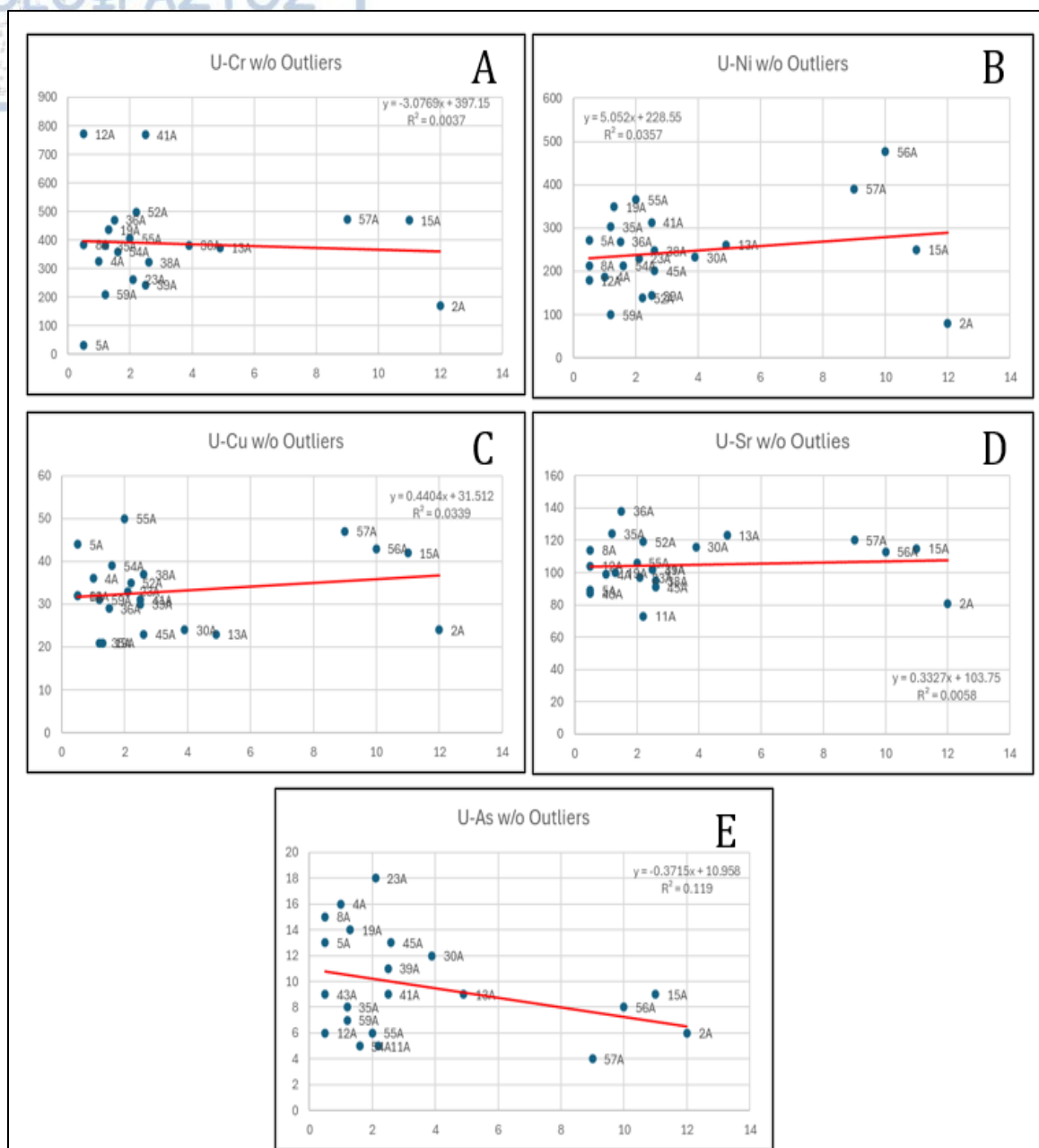


Σχήμα 4.14: (a) Συσχετισμός U με Zr, (b) Συσχετισμός U με Y.



Σχήμα 4.15: (a) Συσχετισμός U με Zn, (b) Συσχετισμός U με Ba, (c) Συσχετισμός U με Pb, (d) Συσχετισμός U με Rb.

Τα ιχνοστοιχεία Cr, Ni, Cu και Sr όλα παρουσιάζουν τιμή του συντελεστή προσδιορισμού < 0.1 , προσεγγίζοντας ακόμα και το μηδέν, αποδίδοντας έτσι σε αυτά έναν πολύ αδύναμο συσχετισμό. Στα διαγράμματα διασποράς τους (Σχ. 4.16 (a), (b), (c) και (d)) παρουσιάζεται η γραμμή τάσης τους. Τέλος, το As (Σχ. 4.16 (e)) παρουσιάζει μια οριακά αδύναμη αρνητική τάση με συντελεστή R^2 0.12.



Σχήμα 4.16: (α) Συσχετισμός U με Cr, (β) Συσχετισμός U με Ni, (γ) Συσχετισμός U με Cu, (δ) Συσχετισμός U με Sr, (ε) Συσχετισμός U με As.

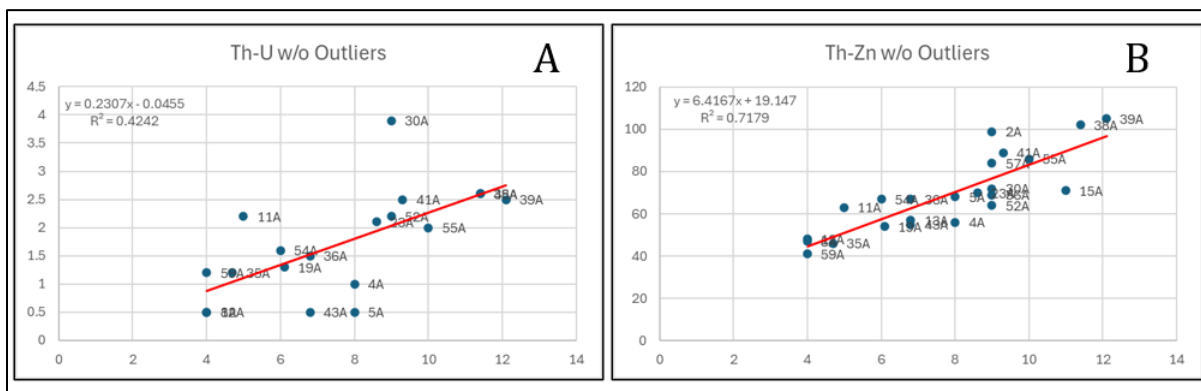
4.3.3.2 Συσχετισμός Th με Ιχνοστοιχεία

Κατά τον συσχετισμό του Th με τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία προκύπτουν δύο πληθυσμοί διαγραμμάτων όπως και στην περίπτωση του U, ο πρώτος όπου φαίνονται αυξητικές τάσεις με αδύναμο έως πολύ ισχυρό συσχετισμό, και ο δεύτερος όπου δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια γραμμική συσχέτιση μεταξύ του Th και του εκάστοτε εξεταζόμενου ιχνοστοιχείου.

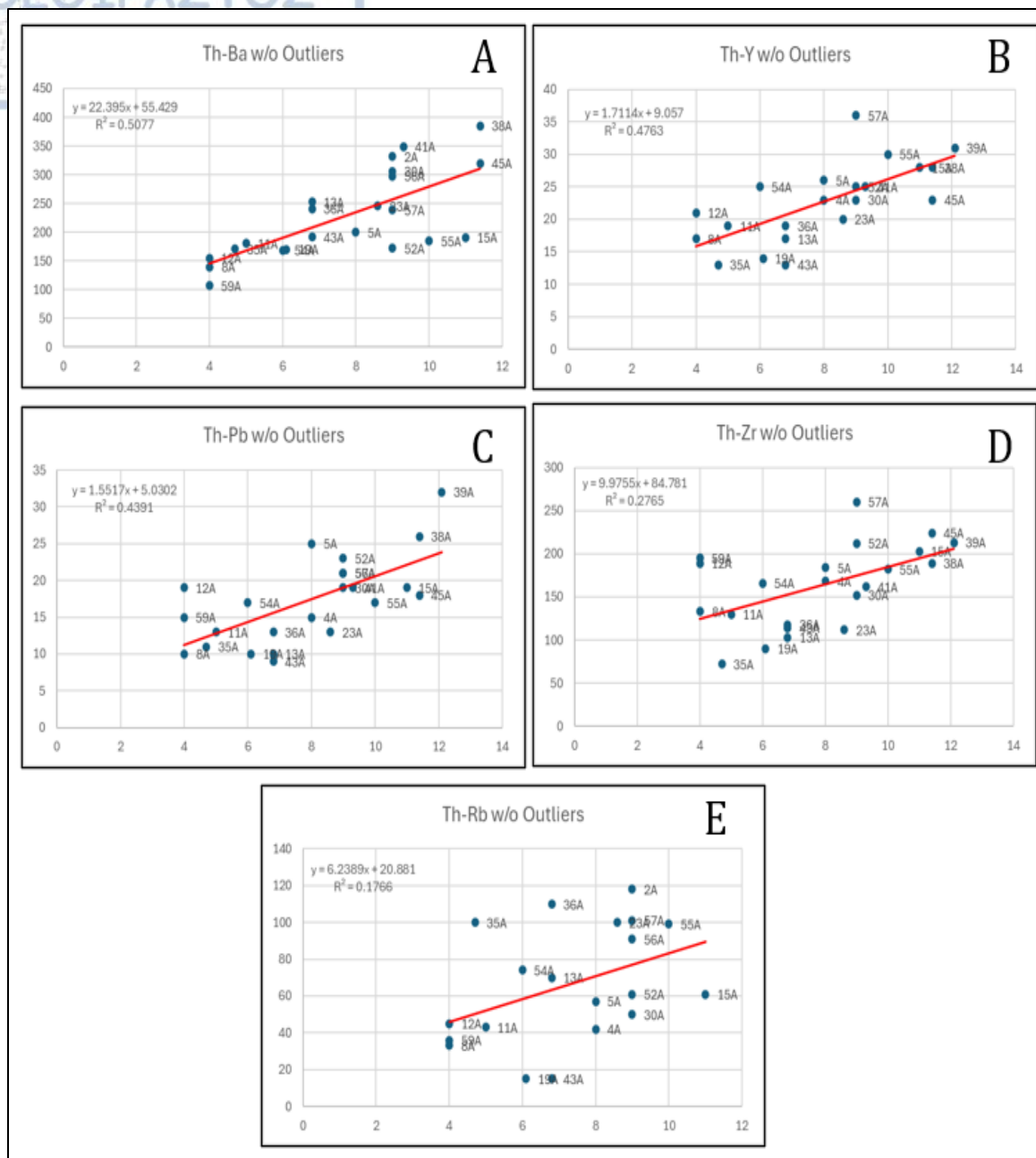
Αρχικά, εξετάζεται η σχέση μεταξύ του U και του Th σε μια προσπάθεια να αποδειχθεί η κοινή τους προέλευση. Στο διάγραμμα των δύο αυτών ιχνοστοιχείων (Σχ. 4.17 (a)), φαίνεται πως υπάρχει μια ήπια αν και εμφανής αυξητική τάση μεταξύ τους, που ενδεχομένως να ήταν πιο ξεκάθαρη αν ο αριθμός των διαθέσιμων δειγμάτων ήταν μεγαλύτερος.

Ο Zn παρουσιάζει μια πάρα πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση με το Th καθώς ο συντελεστής συσχέτισης R^2 των δύο φτάνει το 0.72 (Σχ. 4.17 (b)). Η υψηλή τιμή δείχνει την κοινή προέλευση των δύο ιχνοστοιχείων. Προηγούμενες έρευνες, έχουν δείξει την παρουσία Zn και Th στους λιγνίτες της περιοχής (Georgakopoulos et al., 1996; Γεωργακόπουλος κ.ά., 2002) όπως και το γεγονός ότι τα δύο ιχνοστοιχεία αυτά τείνουν να σχηματίζουν οργανικές ενώσεις μετά την καύση του λιγνίτη (Megalonasilis et al., 2013) εξηγώντας την υψηλή τιμή R^2 μεταξύ τους. Ισχυρή σχετικά συσχέτιση παρουσιάζει με το Ba όπως φαίνεται στο Σχ. 4.18 (a) με τον συντελεστή προσδιορισμού του να φτάνει το 0.5, ενώ το Y, Σχ. 4.18 (b), και ο Pb, Σχ. 4.18 (c), παρουσιάζουν μια μέτρια συσχέτιση με τους συντελεστές R^2 για το καθένα να είναι 0.47 και 0.43 αντίστοιχα.

Τέλος, διαφοροποιούμενο από τον συσχετισμό του με το U, το Zr παρουσιάζει μια αδύναμη συσχέτιση με το Th, αν και πάλι θετική, με τον συντελεστή προσδιορισμού να φτάνει το 0.27 όπως φαίνεται και στο Σχ. 4.18 (d). Το Rb (Σχ. 4.62 (e)) όπως και με το U παρουσιάζει έναν ασθενή συσχετισμό με το R^2 να βρίσκεται στο 0.17.

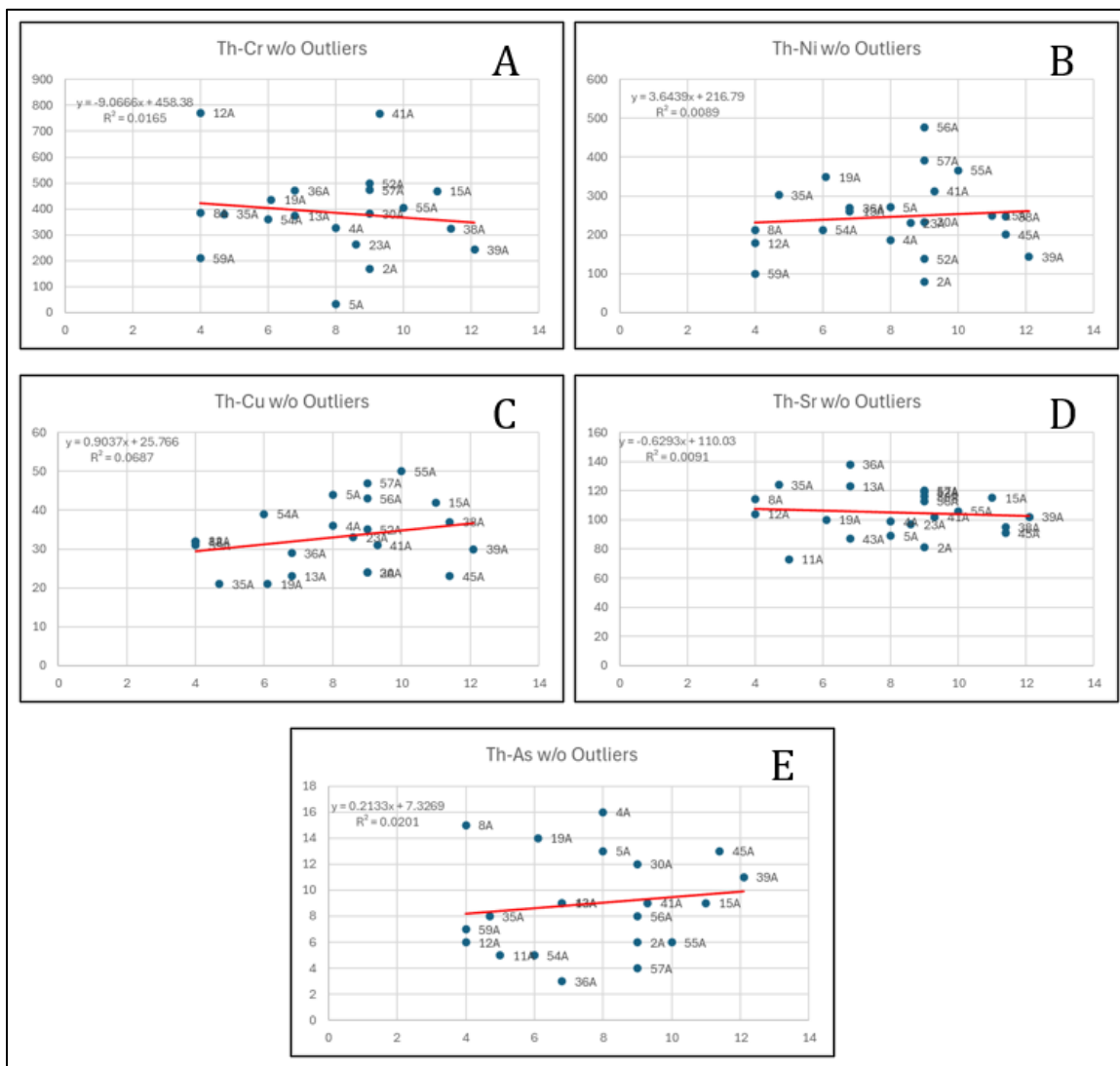


Σχήμα 4.17: (a), Συσχετισμός Th με U (b) Συσχετισμός Th με Zn.



Σχήμα 4.18: (α) Συσχετισμός Th με Ba, (β) Συσχετισμός Th με Y, (γ) Συσχετισμός Th με Pb, (δ) Συσχετισμός Th με Zr, (ε) Συσχετισμός Th με Rb.

Ο δεύτερος πληθυσμός των διαγραμμάτων συσχετισμού, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αποτελείται από τα ιχνοστοιχεία που δεν δείχνουν να έχουν καμία συσχέτιση με το θόριο. Είναι τα ίδια πέντε στοιχεία που παρουσίασαν αντίστοιχα αποτελέσματα στον συσχετισμό τους με το U, ονομαστικά, το Cr, το Ni, ο Cu, το Sr και το As. Στα Σχ. 4.19 (a), (b), (c), (d) και (e), φαίνεται η κατανομή του καθενός από αυτά αντίστοιχα. Ο συντελεστής προσδιορισμού όλων τους προσεγγίζει το μηδέν και η γραμμή τάσης τους είναι υποπαράλληλη του άξονα x των διαγραμμάτων.



Σχήμα 4.19: (a) Συσχετισμός Th με Cr, (b) Συσχετισμός Th με Ni, (c) Συσχετισμός Th με Cu, (d) Συσχετισμός Th με Sr, (e) Συσχετισμός Th με As.

4.4 ΙΣΟΧΗΜΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

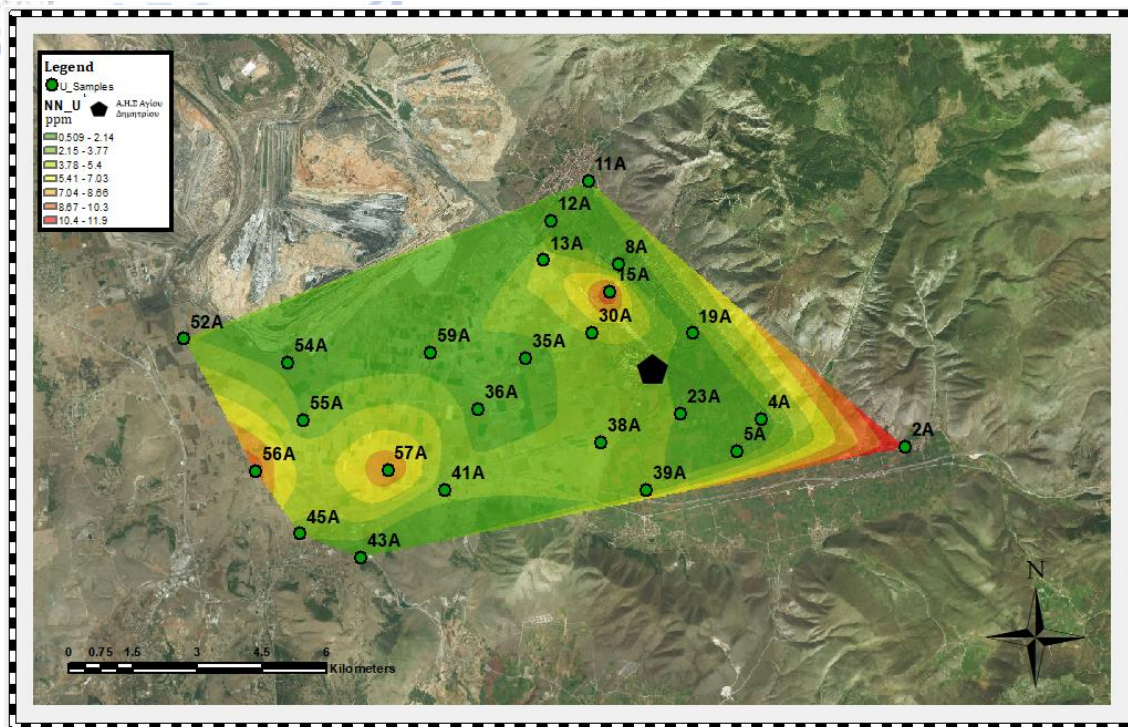
Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες ισοχημικής κατανομής, με την μέθοδο Natural Neighbor ή NN, του U και του Th (Εικ. 4.2-4.3), καθώς και τα μοντέλα πρόβλεψης για τα δυο ιχνοστοιχεία, με την μέθοδο Inverse Distance Weighted ή IDW (Εικ. 4.4-4.5). Τα μοντέλα πρόβλεψης συνοδεύονται από πίνακα που περιέχει τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του καθενός, όπως και τα σφάλματα του, άρα και τον βαθμό αξιοπιστίας τους, όπως αυτά περιεγράφηκαν στο Κεφάλαιο 3.3, της παρούσας εργασίας. Τα μοντέλα πρόβλεψης, χάνουν την ακρίβεια και αξιοπιστία τους στα σημεία τα οποία δεν βρίσκονται ανάμεσα σε γνωστά δείγματα. Για παράδειγμα στην Εικ. 4.5, η ΒΑ γωνία του παρουσιαζόμενου σχήματος δεν παρουσιάζει καμία σχεδόν αξιοπιστία και δεν πρέπει να ληφθεί υπόψιν ως καλά τεκμηριωμένη πρόβλεψη.

Στην συνέχεια, παρατίθενται οι αντίστοιχοι χάρτες των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων που παρουσίασαν ικανοποιητικές τιμές συσχετισμού με το U και το Th, στις Εικ. 4.6-4.21. Συγκεκριμένα τα οξείδια SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 και K_2O , όπως και τα ιχνοστοιχεία Y, Zr, Zn και Pb. Οι χάρτες των υπολοίπων κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων που δεν παρουσίασαν καλό συσχετισμό, βρίσκονται στο Παράρτημα II στο τέλος της εργασίας.

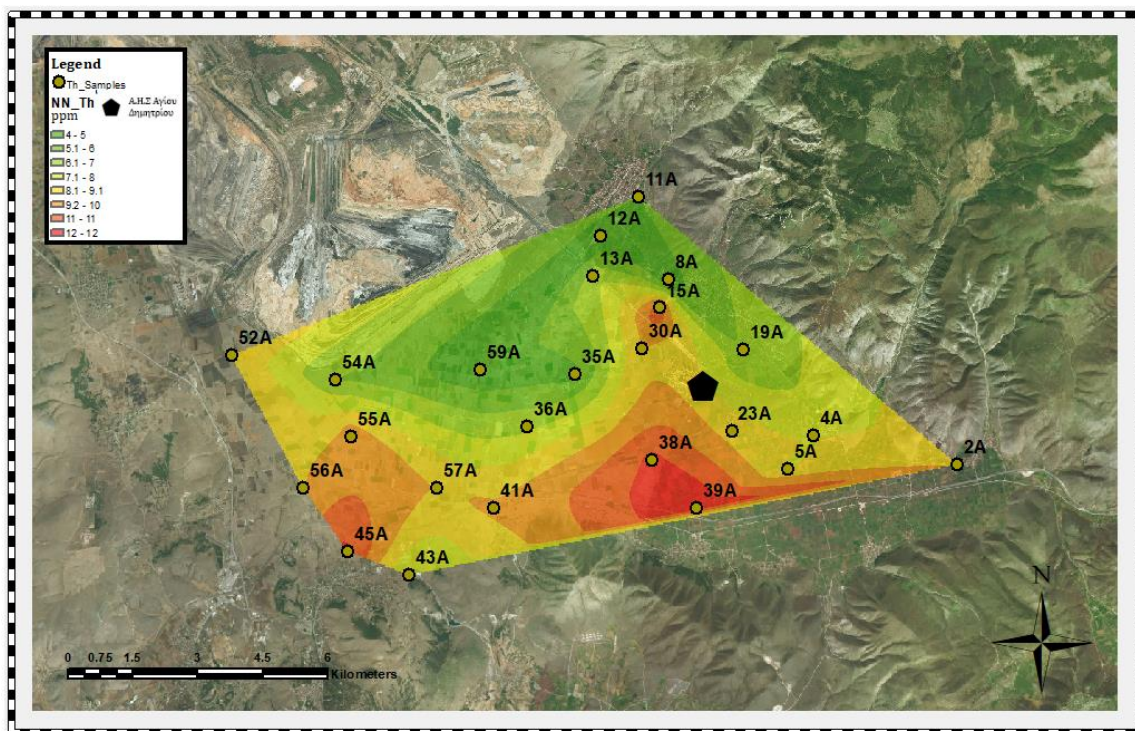
Από την Εικ. 4.2 φαίνεται πως η ρύπανση σε U της περιοχής μελέτης εμφανίζεται κυρίως στα νοτιότερα τμήματα προς τα Ανατολικά και Δυτικά αυτής. Επιπλέον το δείγμα 15A, δείχνει ανεβασμένες τιμές βόρεια του κέντρου της λεκάνης, δίπλα από τον ταινιόδρομο στο σταθμό μεταφόρτωσης «A9». Τα υπόλοιπα δείγματα (2A, 56A και 57A) που παρουσιάζουν αυξημένες τιμές πάρθηκαν μέσα από καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Πέραν των τιμών αυτών, η κατανομή του U στην λεκάνη παρουσιάζει ήπιες τιμές, με τα δείγματα να δίνουν την εικόνα τοπικών γεωχημικών ανωμαλιών.

Στην Εικ. 4.3, το Th δείχνει να παρουσιάζει μια διαφορετική κατανομή. Και πάλι τα νοτιότερα τμήματα της περιοχής μελέτης παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές, με εξαίρεση ξανά το δείγμα 15A, δίπλα από τον ταινιόδρομο στο σταθμό μεταφόρτωσης A9. Τα δείγματα 39A και 46A που παρουσιάζουν τις πιο υψηλές τιμές, λήφθηκαν επίσης από καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Αντίθετα από το U, το Th δεν έχει τοπικές ακραίες τιμές αλλά δείχνει μια πιο ομαλή και ευρεία μετάβαση από τις ψηλότερες προς τις χαμηλότερες τιμές, κινούμενη από τα νοτιότερα προς τα βορειότερα τμήματα της λεκάνης.

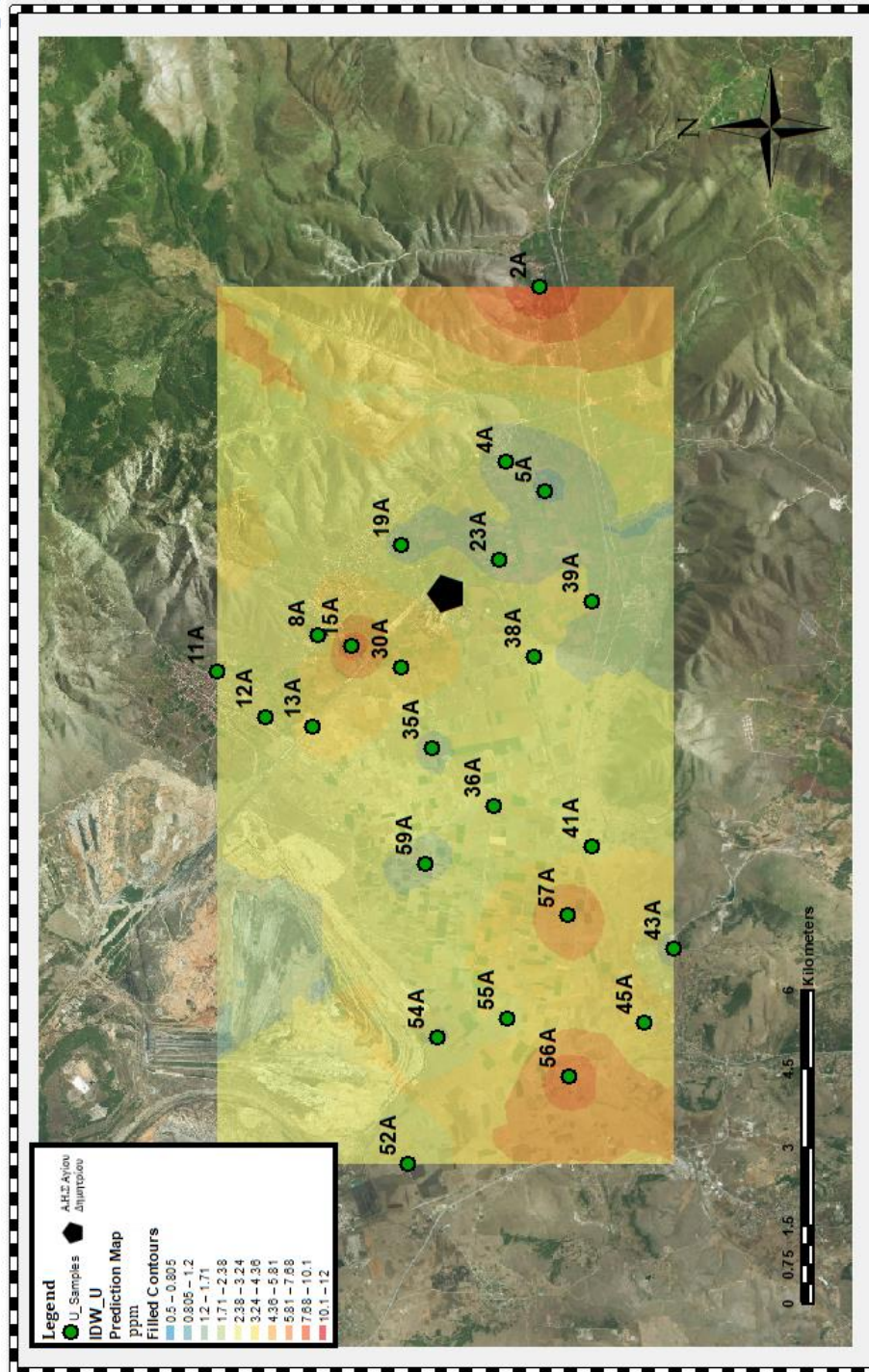
Εικόνα 4.2: Γεωχημική κατανομή του U στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



Εικόνα 4.3: Γεωχημική κατανομή του Th στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



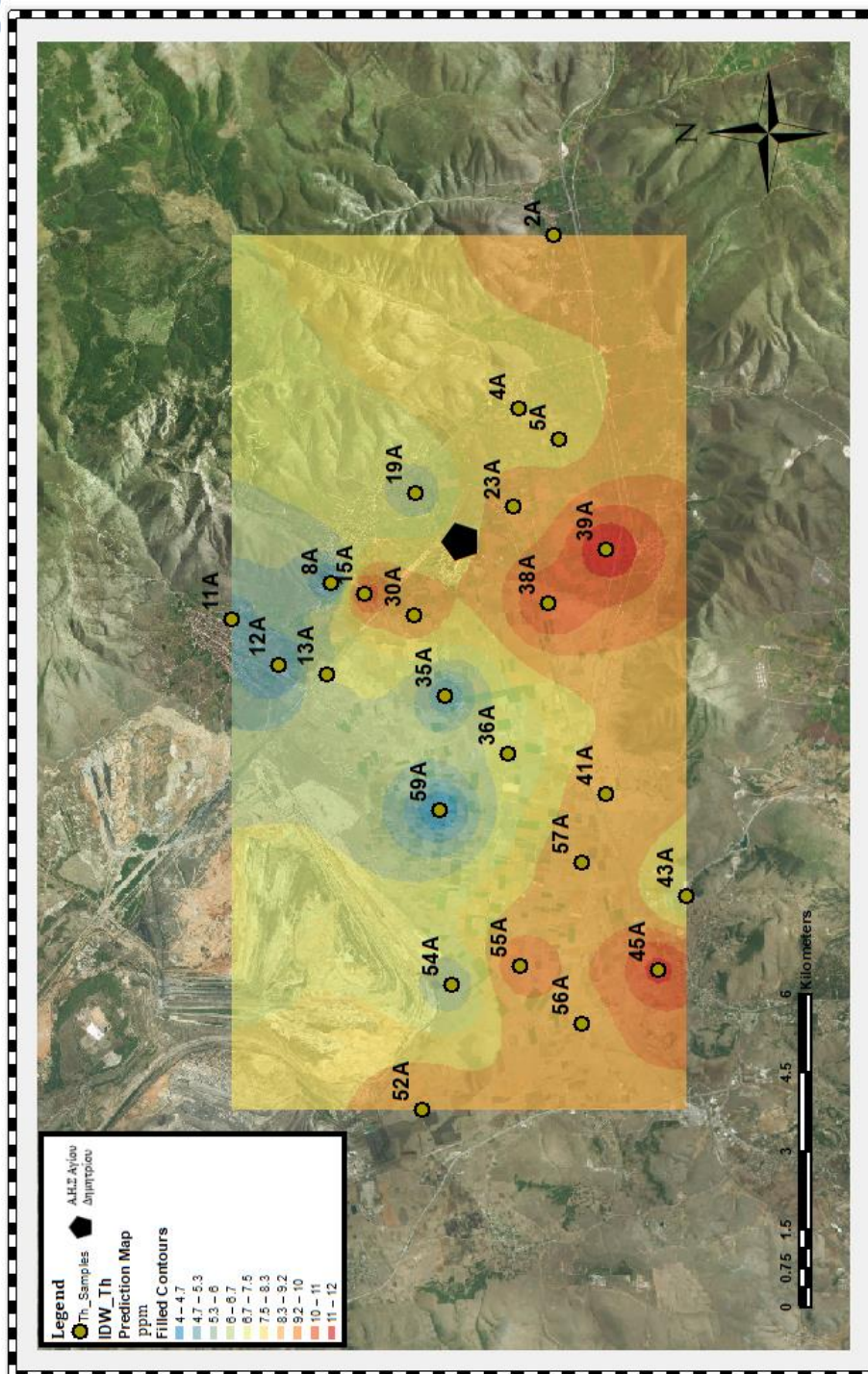
Εικόνα 4.4: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του U στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο *Inverse Distance Weighted*. Παρουσιάζει σχετικά χαμηλά σφάλματα, είναι δηλαδή καλής αξιοπιστίας.



Πίνακας 4.7: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του U.

Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
1	Standard	15	5	Four	20°	-0.09	3.8

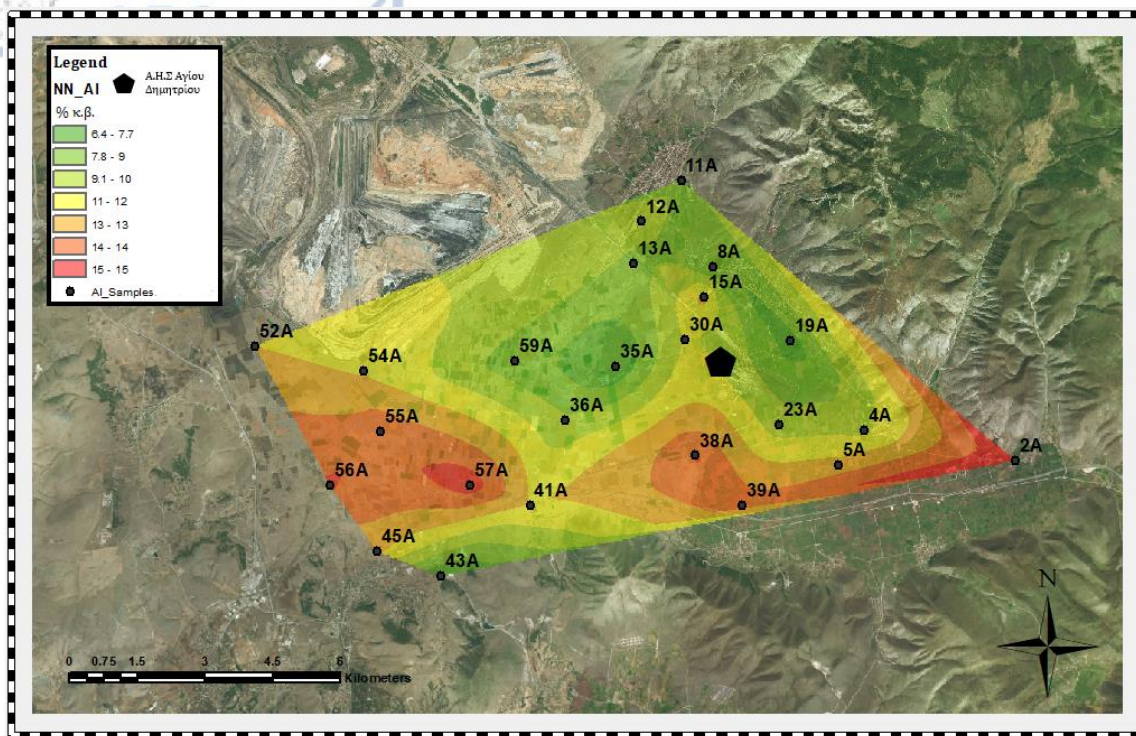
Εικόνα 4.5: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του Th στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο *Inverse Distance Weighted*. Παρουσιάζει σχετικά χαμηλά σφάλματα είναι δηλαδή καλής αξιοπιστίας.



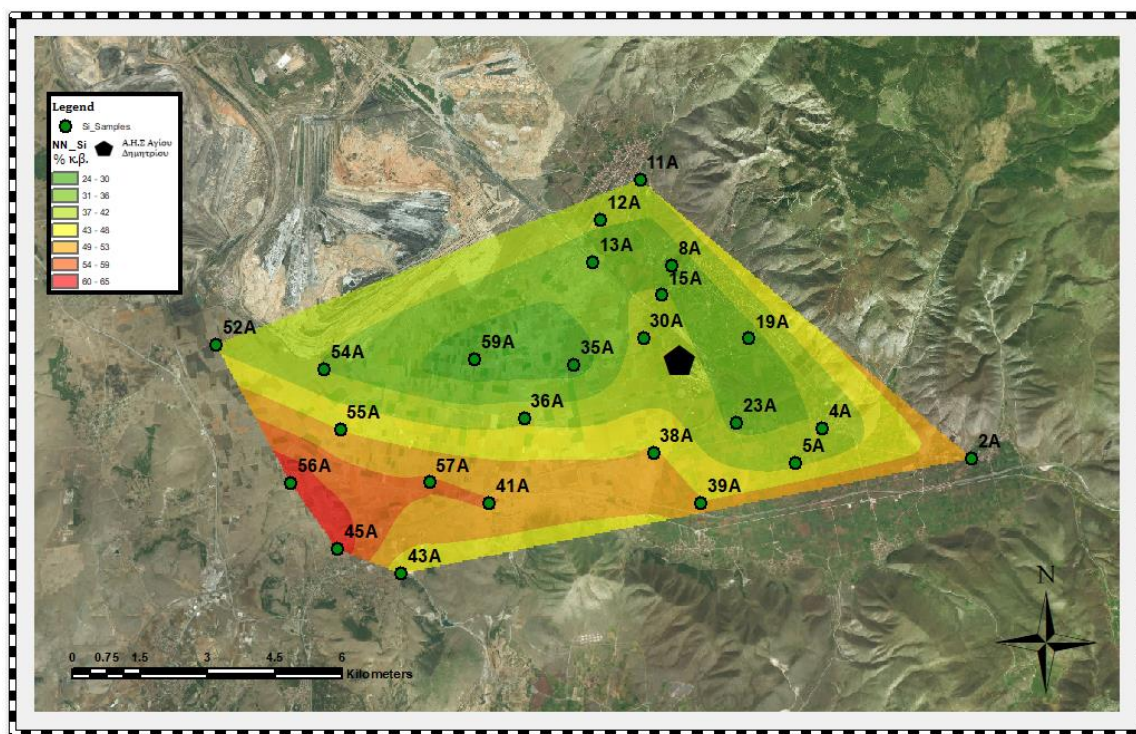
Πίνακας 4.8: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του Th.

Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
2	Standard	20	15	Four	10°	0.009	2.4

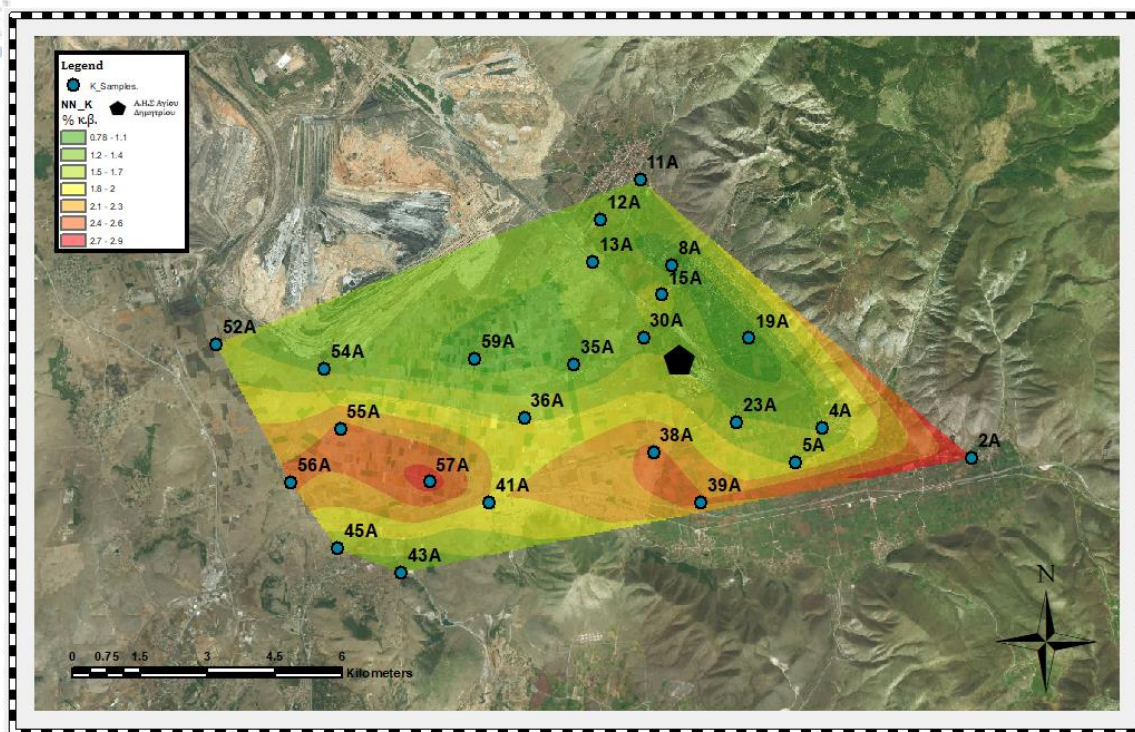
Εικόνα 4.6: Γεωχημική κατανομή του Al_2O_3 στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



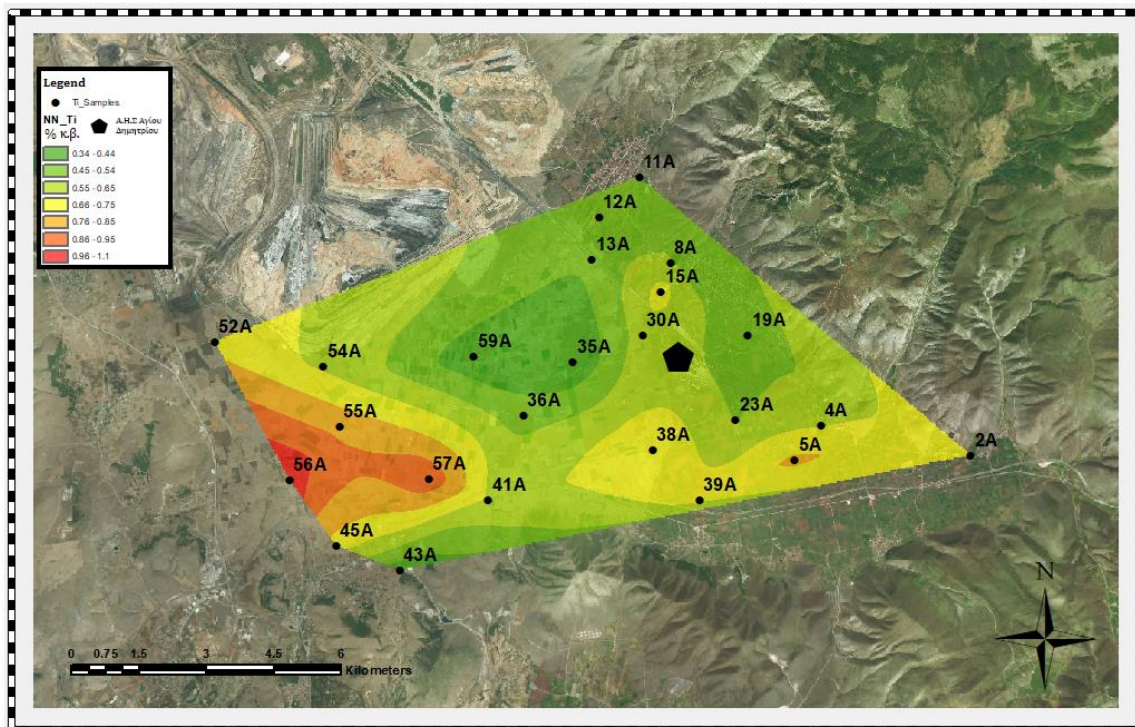
Εικόνα 4.7: Γεωχημική κατανομή του SiO_2 στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



Εικόνα 4.8: Γεωχημική κατανομή του K_2O στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



Εικόνα 4.9: Γεωχημική κατανομή του TiO_2 στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.

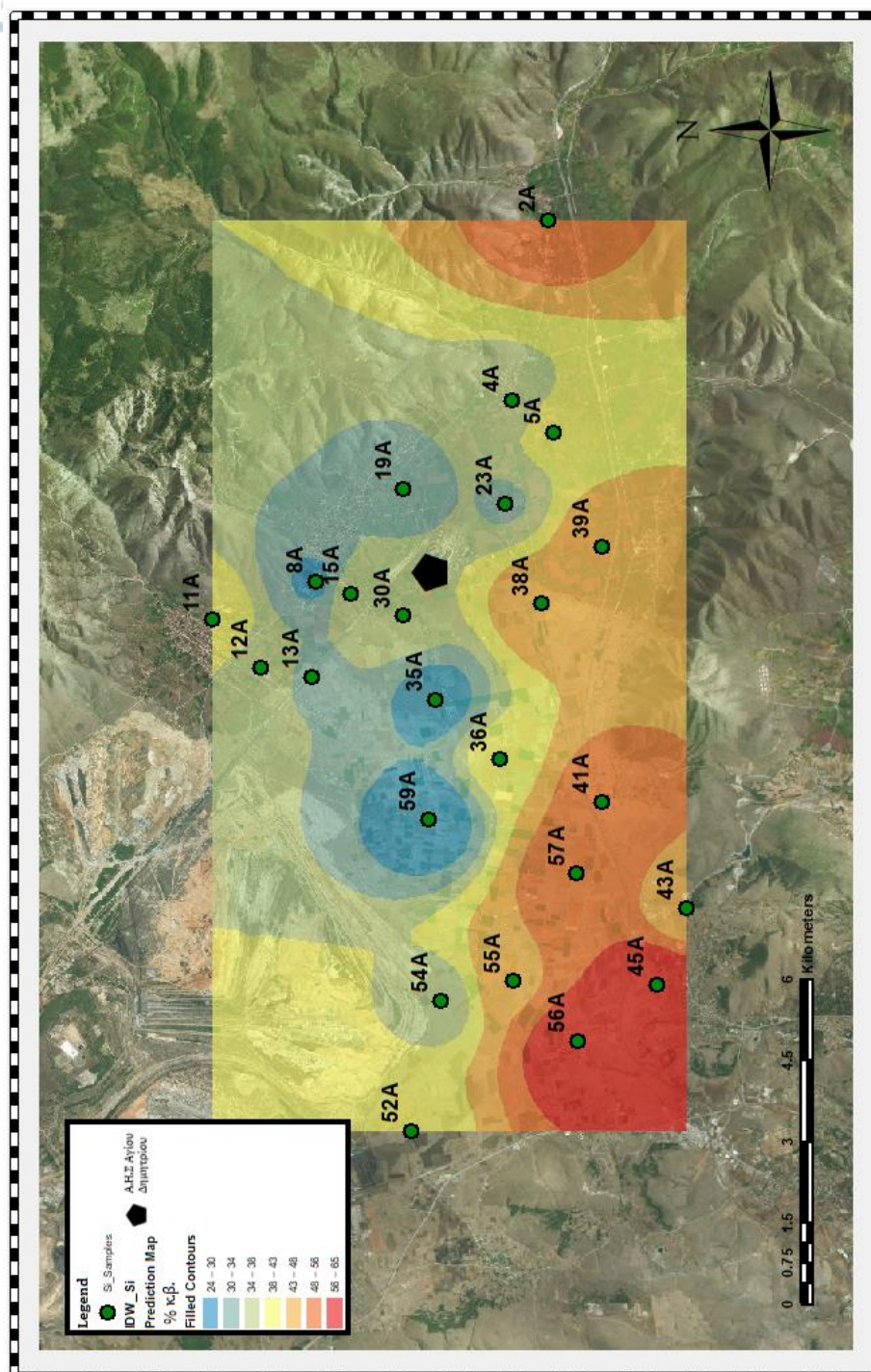


Στα παραπάνω σχήματα φαίνεται η κατανομή των SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O και TiO_2 . Τα πέντε οξείδια παρουσιάζουν όμοια κατανομή με το U και το Th, με τις ακραίες τους τιμές να εμφανίζονται σε αντίστοιχα σημεία, στα Νότια τμήματα δηλαδή της λεκάνης. Τα SiO_2 και TiO_2 εμφανίζουν αυξημένες τιμές στο δείγμα 15A, δίπλα από τον ταινιόδρομο, αλλά όχι αναλογικά το ίδιο υψηλές με αυτές που εμφανίζουν τα U και Th.

Αν και τα ραδιενεργά σωματίδια του άνθρακα και του λιγνίτη είναι συνήθως οργανικής προέλευσης (Seredin and Finkelman, 2008), η μεταφορά αυτών γίνεται, μεταξύ άλλων τρόπων, μέσω της δέσμευσης τους από πυριτικά ορυκτά (Papastefanou, 2008; Hasani et al, 2014; Zheng et al 2016). Συνεπώς, καθώς τα παραπάνω οξείδια αποτελούν τα βασικότερα συστατικά των πυριτικών ορυκτών, αναμένουμε το U και το Th να έχουν μια όμοια κατανομή με αυτά.

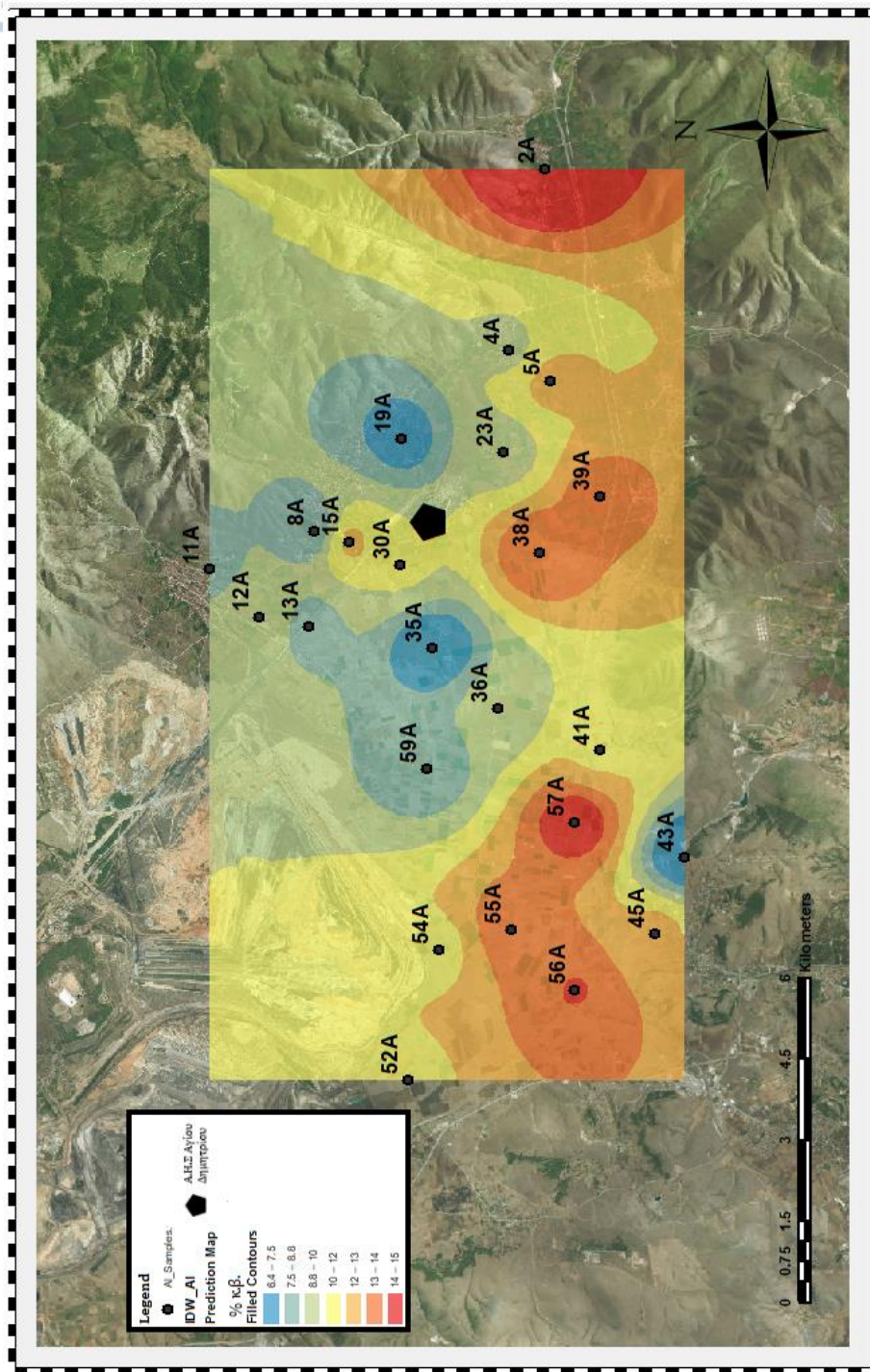
Στις Εικ. 4.14-4.21, φαίνεται η γεωχημική κατανομή των ιχνοστοιχείων Y, Zr, Zn και Pb. Τα Y και Zr παρουσιάζουν κατανομή στον χώρο αντίστοιχο με αυτό του U, ενώ τα Zn και Pb προσεγγίζουν περισσότερο την εικόνα της κατανομής του Th. Όπως προαναφέρθηκε, όλα αυτά τα ιχνοστοιχεία έχουν εντοπιστεί στους λιγνίτες της περιοχής, καθώς και στα προϊόντα της καύσης τους, καθιστώντας την προέλευση τους σε σημαντικό τουλάχιστον βαθμό ως ανθρωπογενή.

Εικόνα 4.10: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του SiO_2 στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο *Inverse Distance Weighted*. Παρουσιάζει σχετικά υψηλά σφάλματα, είναι μέτριας αξιοπιστίας.



Πίνακας 4.9: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του SiO_2 .							
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
3	Standard	20	15	Four	10°	-0.45	8.7

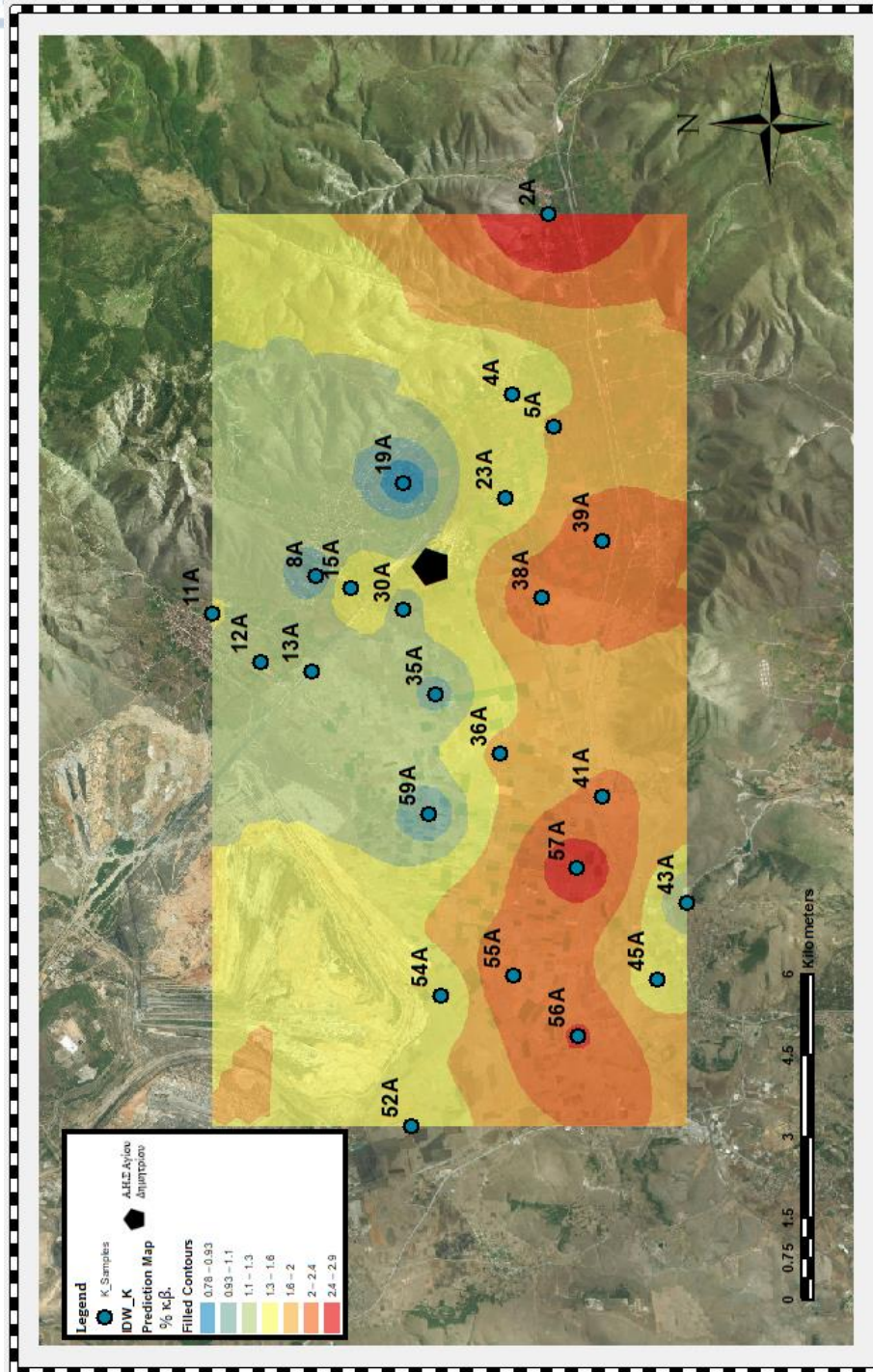
Εικόνα 4.11: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του Al_2O_3 στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο *Inverse Distance Weighted*. Παρουσιάζει σχετικά χαμηλά σφάλματα, είναι δηλαδή καλής αξιοπιστίας.



Πίνακας 4.10: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του Al_2O_3 .

Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
3	Standard	15	10	Four	10°	0.04	2.6

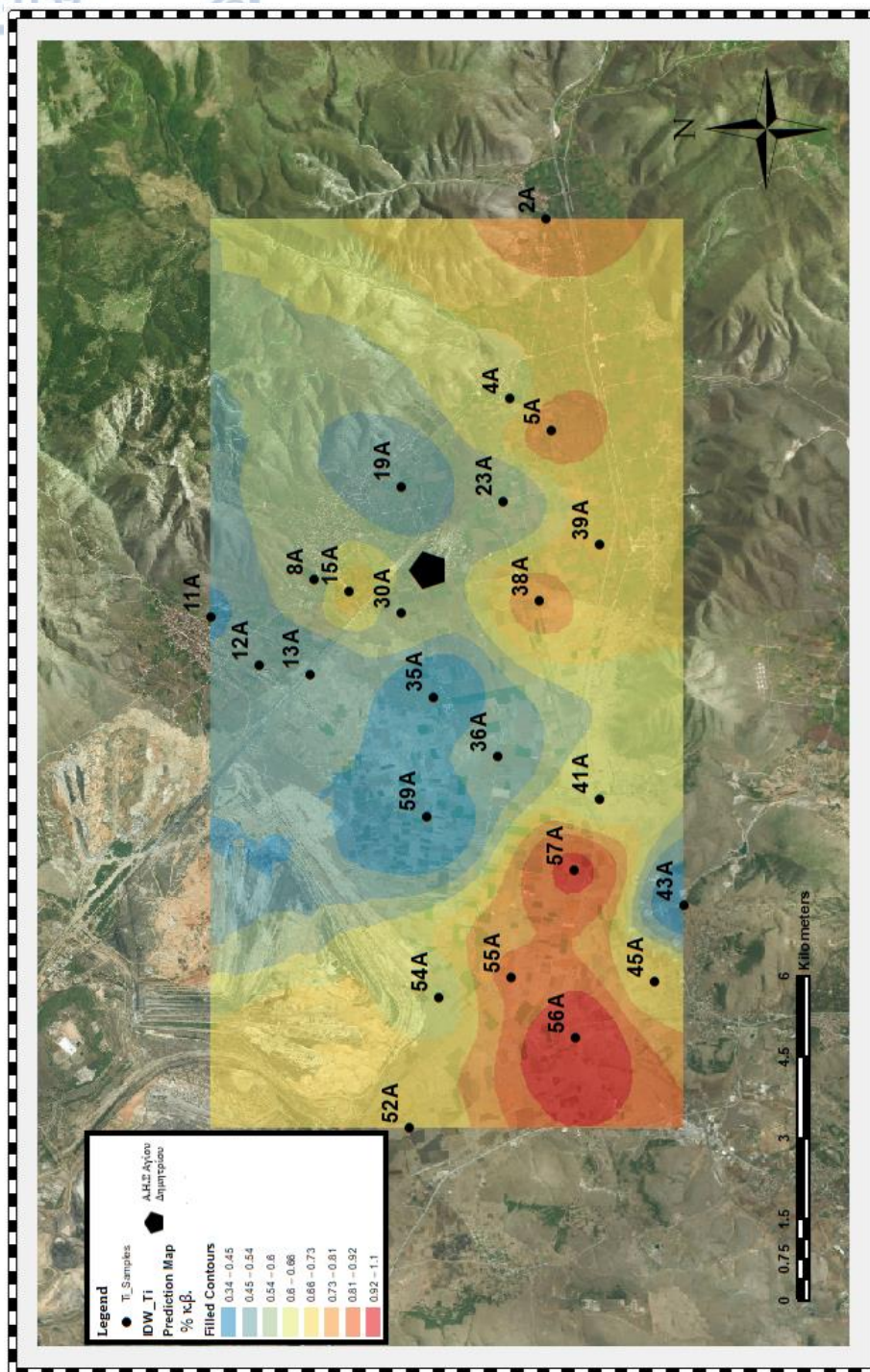
Εικόνα 4.12: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του K_2O στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο *Inverse Distance Weighted*. Παρουσιάζει χαμηλά σφάλματα, είναι δηλαδή πολύ καλής αξιοπιστίας.



Πίνακας 4.11: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του K_2O .

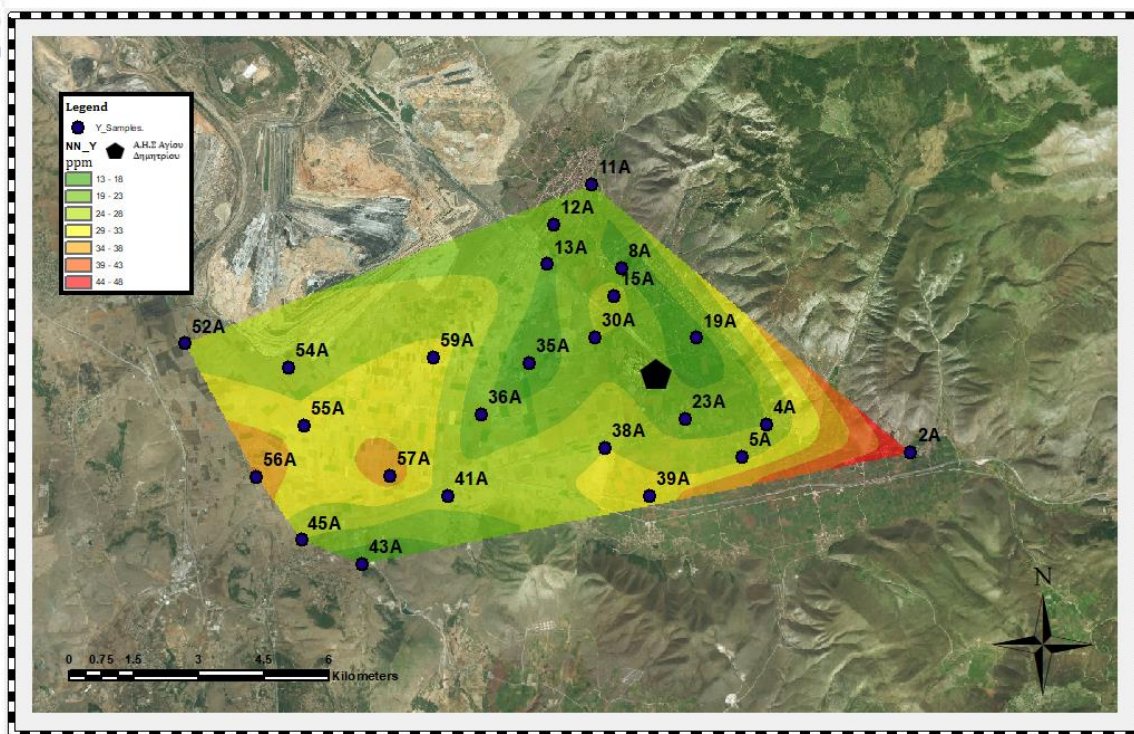
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
2	Standard	10	5	Four	0°	-0.02	0.6

Εικόνα 4.13: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του TiO_2 στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο *Inverse Distance Weighted*. Παρουσιάζει χαμηλά σφάλματα, είναι πολύ καλής αξιοπιστίας.

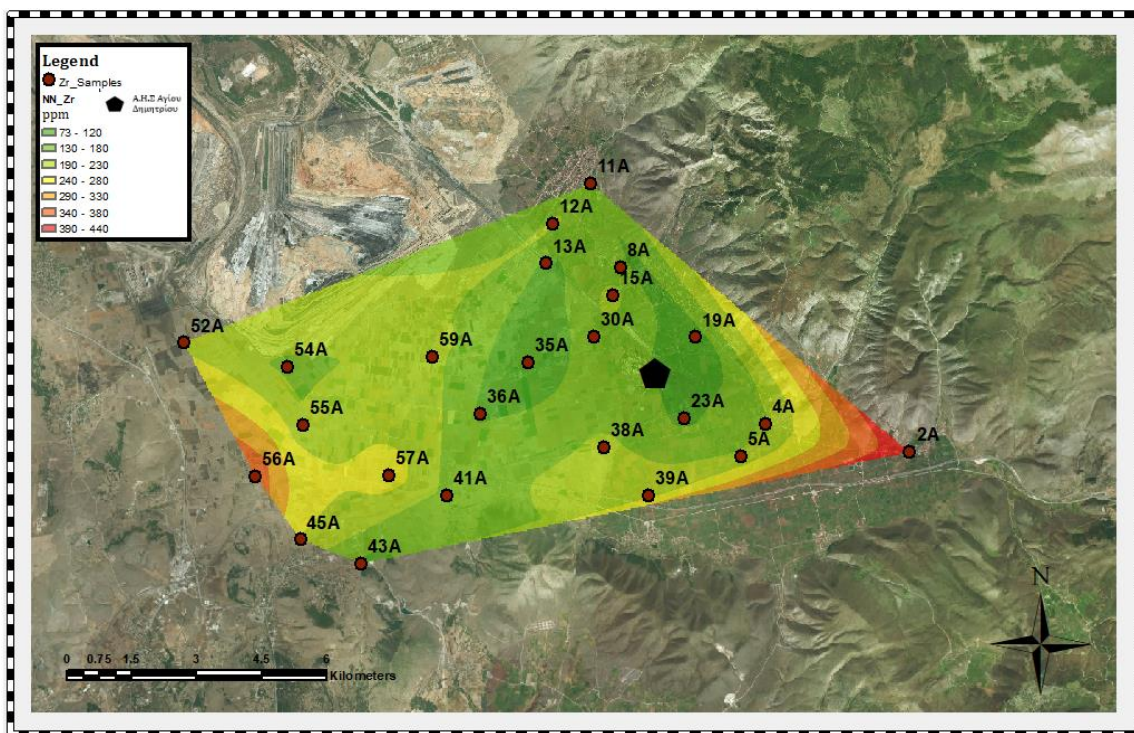


Πίνακας 4.12: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του TiO_2 .							
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
3	Standard	15	5	Full	10°	0.02	0.2

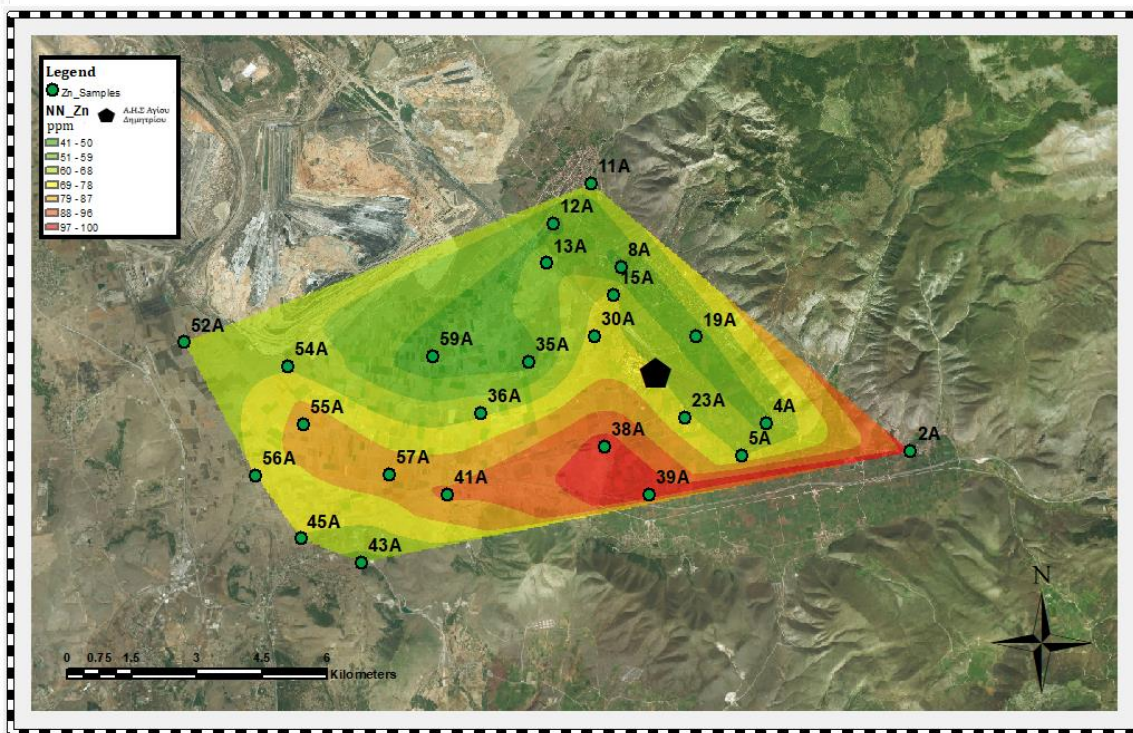
Εικόνα 4.14: Γεωχημική κατανομή του Y στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



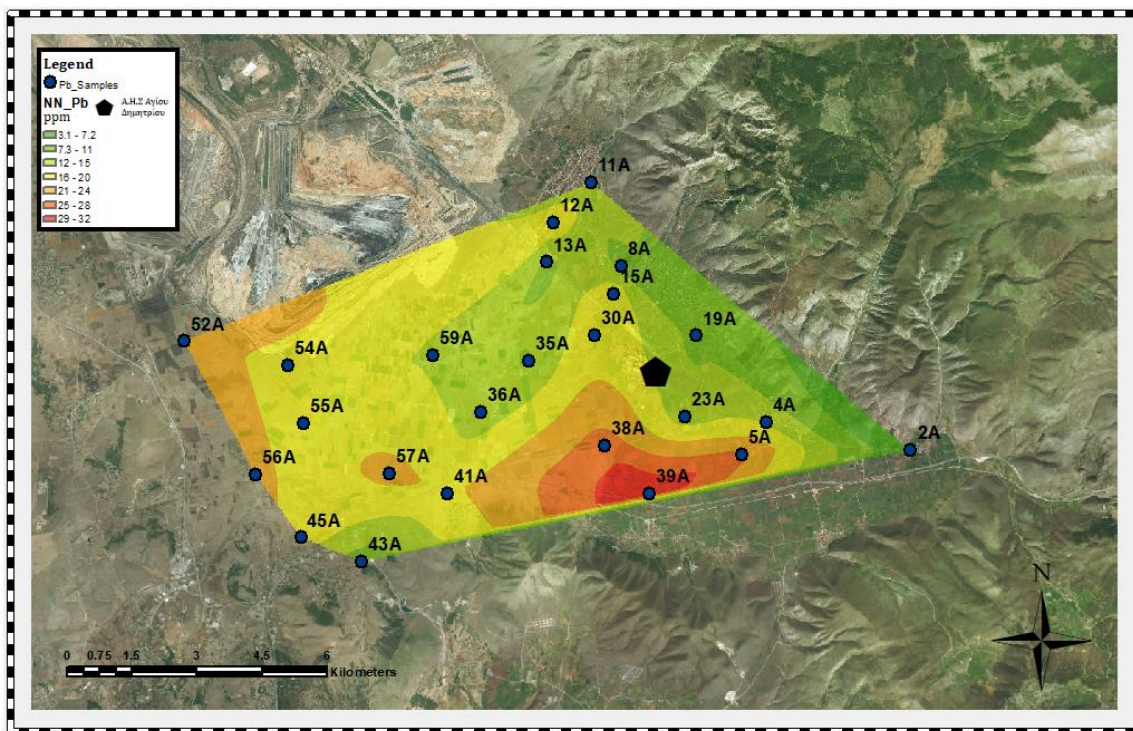
Εικόνα 4.15: Γεωχημική κατανομή του Zr στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



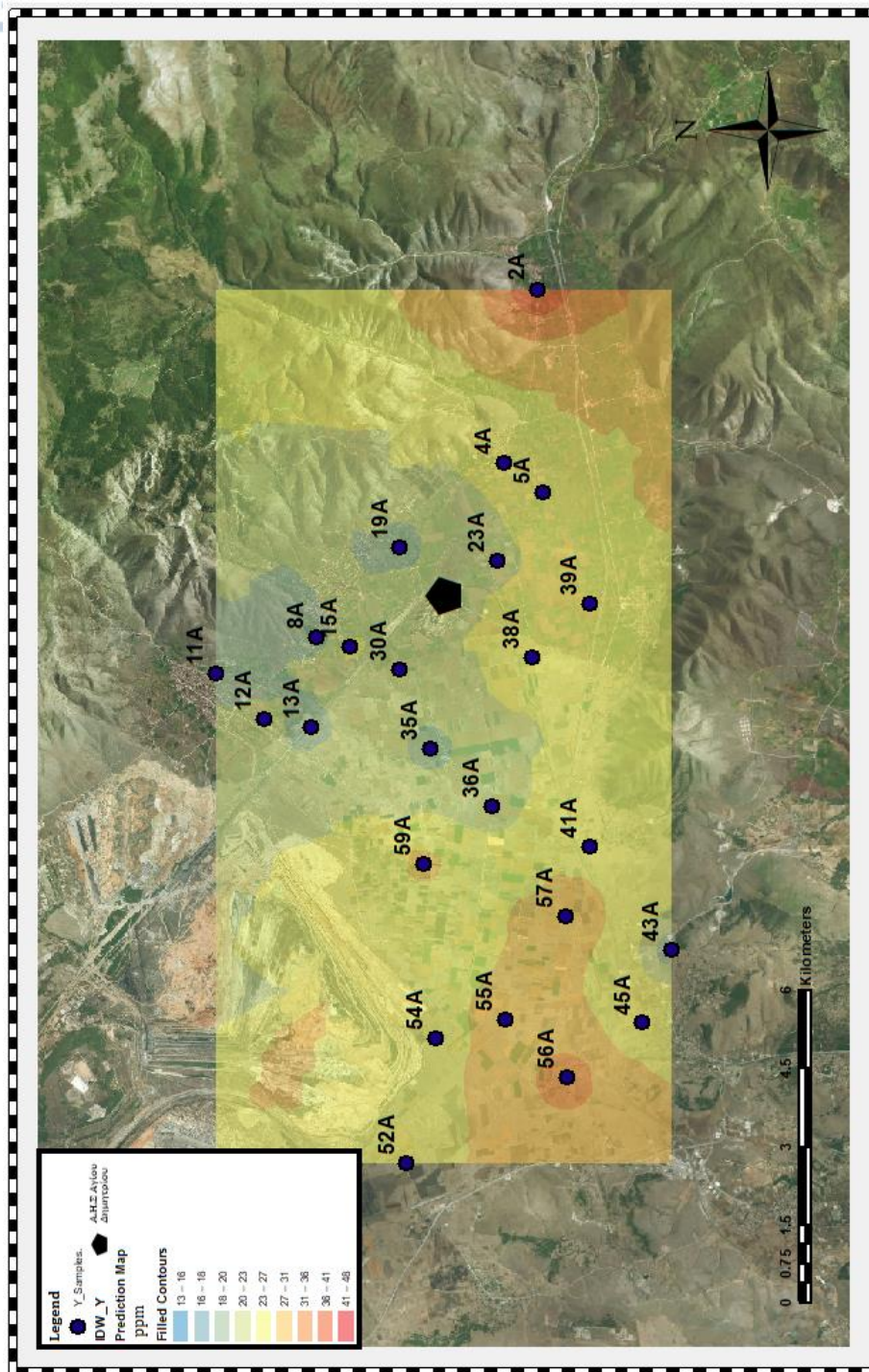
Εικόνα 4.16: Γεωχημική κατανομή του Zn στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



Εικόνα 4.17: Γεωχημική κατανομή του Pb στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.

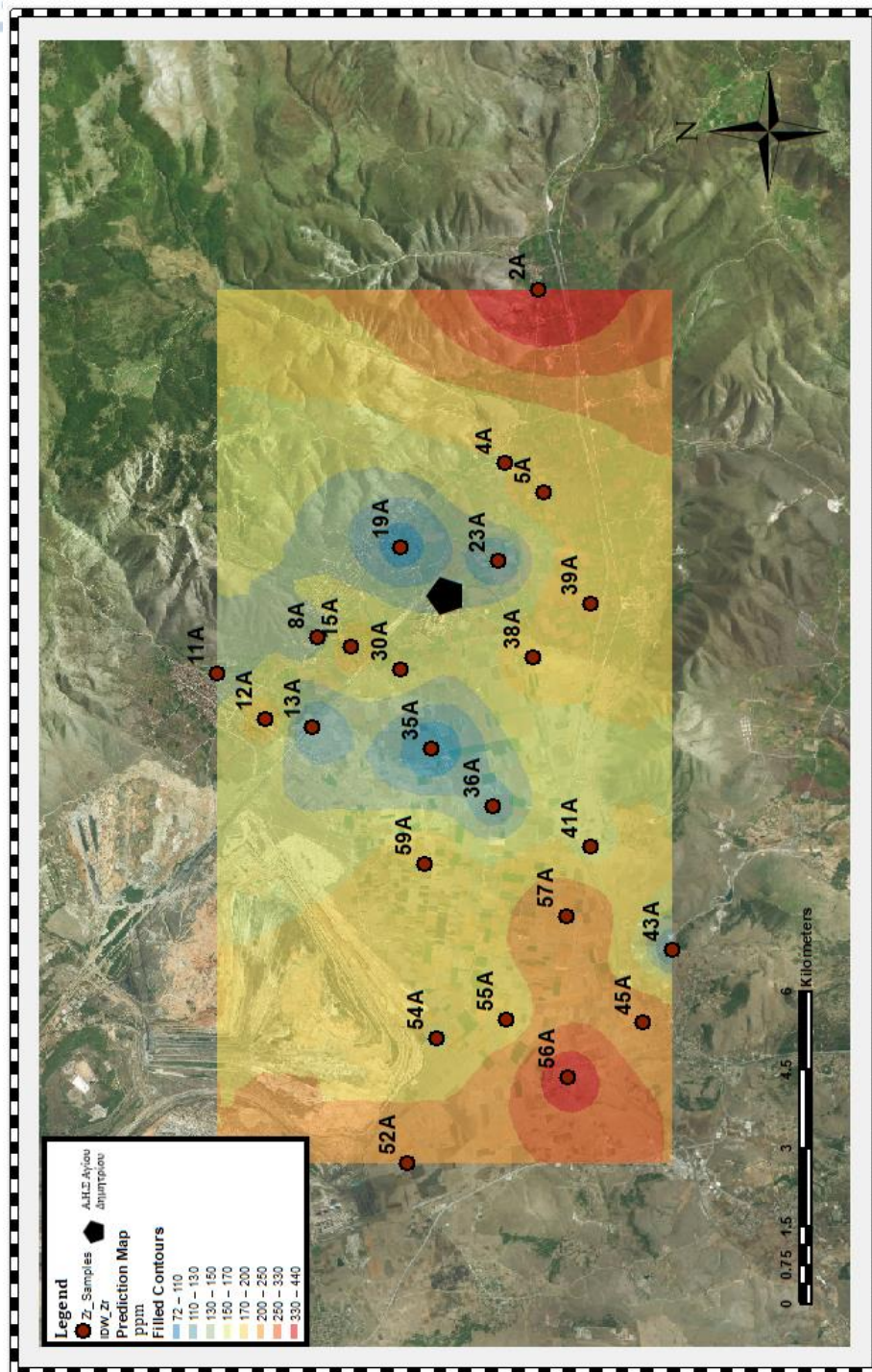


Εικόνα 4.18: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του Y στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο *Inverse Distance Weighted*. Παρουσιάζει σχετικά υψηλά σφάλματα, είναι δηλαδή μέτριας αξιοπιστίας.



Πίνακας 4.13: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του Y.							
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
1	Standard	20	5	Four	20°	-0.7	8.3

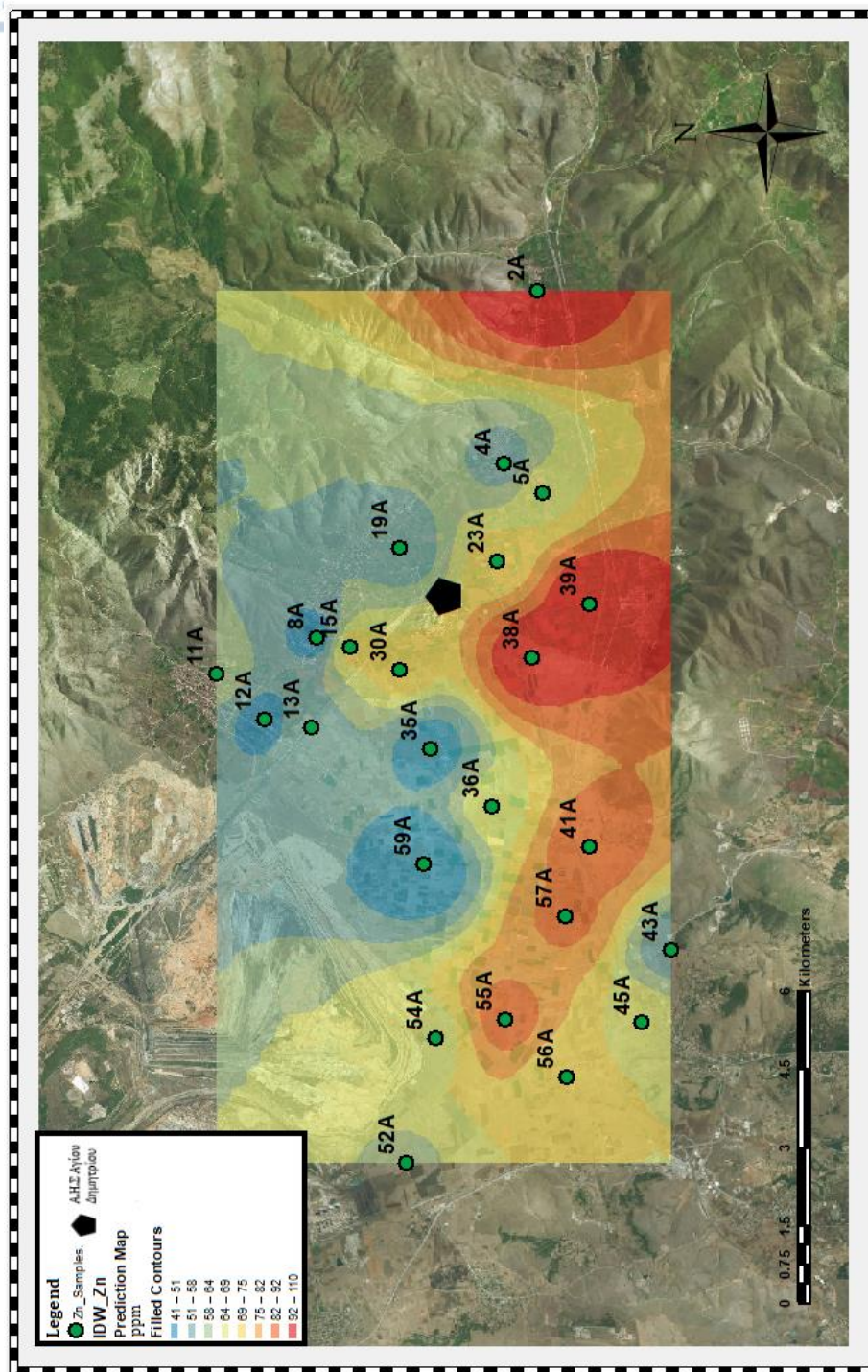
Εικόνα 4.19: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του Zr στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο Inverse Distance Weighted. Παρουσιάζει εξαιρετικά υψηλά σφάλματα, είναι πάρα πολύ μικρής αξιοπιστίας.



Πίνακας 4.14: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του Zr.

Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
2	Standard	20	5	Four	0°	-8.6	85

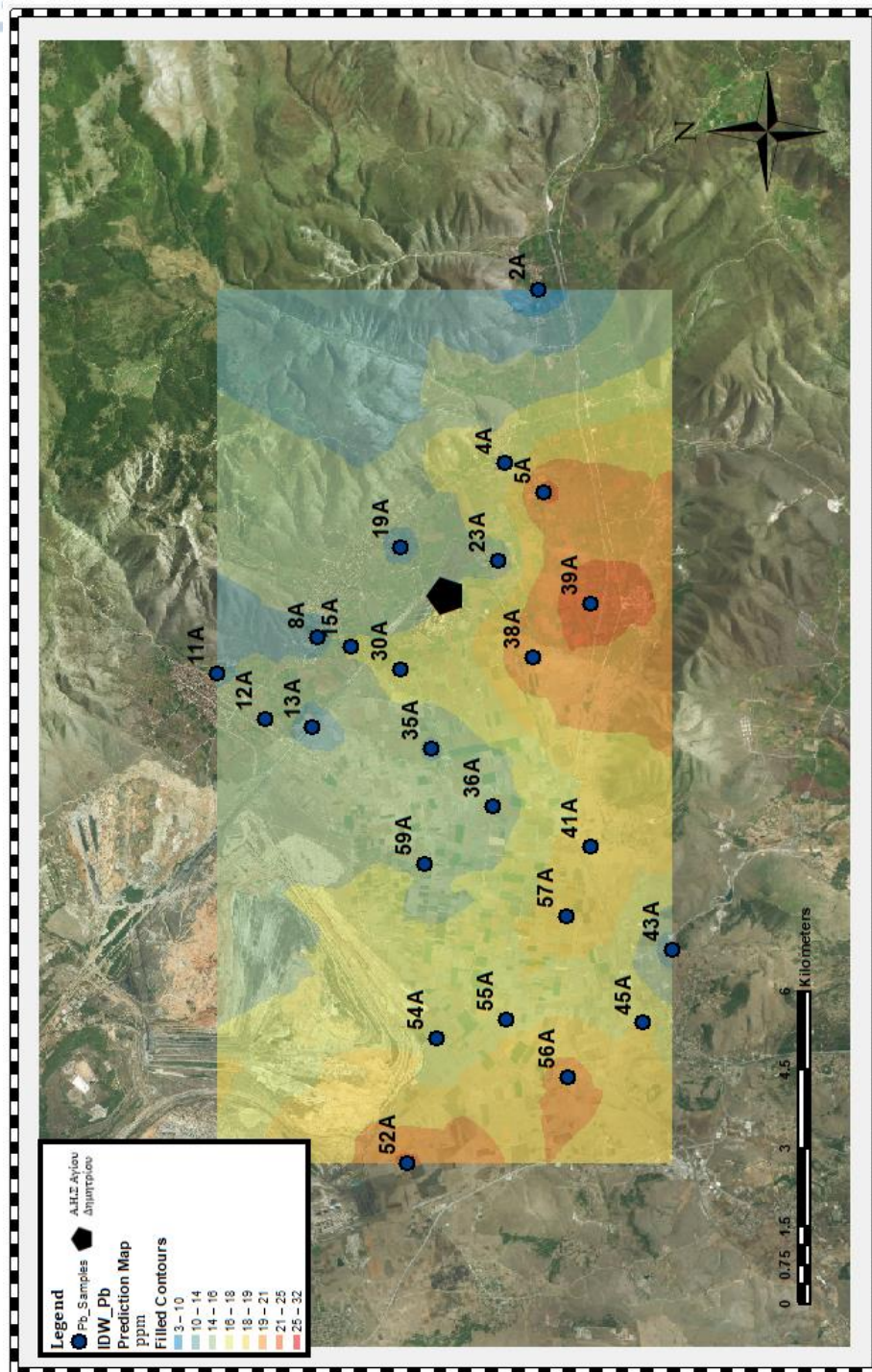
Εικόνα 4.20: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του Zn στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο *Inverse Distance Weighted*. Παρουσιάζει υψηλά σφάλματα, είναι δηλαδή μέτριας αξιοπιστίας.



Πίνακας 4.15: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του Zn.

Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
3	Standard	20	5	Four	10°	-0.8	15

Εικόνα 4.21: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του Pb στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο *Inverse Distance Weighted*. Παρουσιάζει σχετικά υψηλά σφάλματα, είναι μέτριας αξιοπιστίας.



Πίνακας 4.16: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του Pb.

Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
1	Standard	20	5	Four	30°	0.09	6.5

Για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας εξετάστηκαν δείγματα εδάφους βάθους 0-10 cm, από την λεκάνη Σαριγκιόλ στην περιοχή της Κοζάνης, γύρω από τον Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου. Ακολούθησε προετοιμασία 13 δειγμάτων, ενώ πάρθηκαν προηγούμενα δεδομένα 11 δειγμάτων από την ίδια περιοχή.

Από την ορυκτολογική μελέτη των δειγμάτων αναγνωρίστηκαν με την μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων – X, τα κύρια ορυκτά συστατικά του εδάφους της περιοχής: ασβεστίτης, χαλαζίας, άστριοι και δολομίτης. Επιπλέον εντοπίστηκαν και τα δευτερεύοντα ορυκτά χλωρίτης, μοσχοβίτης, σερπεντίνης, ορυκτά της ομάδας των αμφιβόλων και των πυροξένων, όπως και αργιλικά ορυκτά.

Αντίστοιχα με την μέθοδο της φθορισμετρίας ακτίνων – X, αναλύθηκαν τα οξείδια των κύριων στοιχείων και τα ιχνοστοιχεία που βρίσκονταν στα εδαφικά δείγματα. Αναλύθηκαν τα κύρια στοιχεία SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , K_2O , P_2O_5 και SO_3 και τα ιχνοστοιχεία Cr, Ni, Cu, Zn, Rb, As, Sr, Y, Zr, Ba, Pb όπως και τα U και Th. Για όλα τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκε ο συντελεστής εμπλουτισμού και ο συντελεστής ρύπανσης.

Το ουράνιο συγκρινόμενο με την μέση τιμή του ηπειρωτικού φλοιού της Γης και με την μέση παγκόσμια τιμή των εδαφών, εμφάνισε κάποιες ακραίες τιμές με τον συντελεστή εμπλουτισμού και ρύπανσης να φτάνουν τις τιμές 6 και 4 αντίστοιχα. Παρόλα αυτά η πλειοψηφία των δειγμάτων είχε τιμές για τους συντελεστές αυτούς <1 , καθιστώντας τα περισσότερα δείγματα ως μη ρυπασμένα. Το θόριο δεν παρουσιάζει τις ίδιες αυξημένες τιμές όπως και το ουράνιο, αν και εμφάνιζε και αυτό αυξημένες τιμές σε κάποια από τα δείγματα συγκρινόμενο με την μέση τιμή του ηπειρωτικού φλοιού και τον παγκόσμιο μέσο όρο των εδαφών. Αν και οι τιμές των δύο στοιχείων δεν είναι εξαιρετικά υψηλές, το γεγονός ότι τα ρυπασμένα δείγματα λήφθηκαν μέσα από καλλιεργούμενες εκτάσεις, φέρνει της ανάγκη συνεχούς παρακολούθησης.

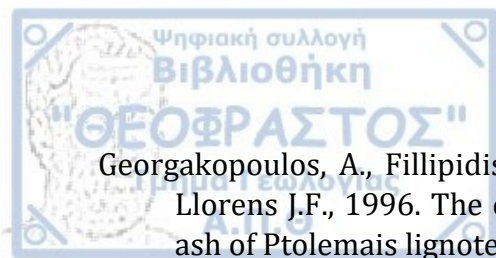
Τα δύο ραδιενεργά σωματίδια συσχετίστηκαν με όλα τα κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία. Ακολούθως κατασκευάστηκαν χάρτες γεωχημικής κατανομής αυτών μέσα στα όρια της λεκάνης Σαριγκιόλ, δείχνοντας πως το ουράνιο και το θόριο παρουσιάζουν της υψηλότερες τιμές τους στα νοτιότερα τμήματα της λεκάνης, μέσα σε καλλιεργήσιμα εδάφη, όπως και κοντά στον ταινιόδρομο μεταφοράς λιγνίτη προς τον Α.Η.Σ Αγίου Δημητρίου αλλά και το σταθμό μεταφόρτωσης της τέφρας Α9. Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων συνδυαστικά με τα αποτελέσματα των μοντέλων πρόβλεψης, δείχνουν πως το K_2O , θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως στοιχείο οδηγός (pathfinder element) για τον εντοπισμό του U και του Th.

Οι κύριες ορυκτές φάσεις που εμφάνισαν θετικές τάσεις με ικανοποιητική συσχέτιση και για τα δύο ραδιενεργά σωματίδια, ήταν αυτές του χαλαζία και των αστρίων, δύο ορυκτά τα οποία είναι γνωστό πως συμμετέχουν στην ορυκτολογική σύσταση του λιγνίτη της περιοχής. Αντίστοιχα ψηλές συσχετίσεις με τα οξείδια SiO_2 , Al_2O_3 και K_2O , υποστηρίζουν μια σχέση με τα προαναφερθέντα ορυκτά. Επιπλέον, υψηλές τιμές συσχετισμού εμφανίζουν και με τα ιχνοστοιχεία Y, Zr, Zn, Pb όπως και με το Ba. Τα ιχνοστοιχεία αυτά έχουν βρεθεί να συμμετέχουν σε αξιόλογες συγκεντρώσεις στην σύσταση των λιγνιτικών κοιτασμάτων της Πτολεμαΐδας.

Η συσχέτιση με τα ορυκτά που αναγνωρίστηκαν μπορεί να υπονοεί μια λιθογενή προέλευση, ενδεχομένως από τα αμμώδη ιζήματα της λεκάνης, αλλά ο συσχετισμός με τα παραπάνω ιχνοστοιχεία, συνδυαστικά με τις ανάλογες γεωχημικές κατανομές αυτών στην λεκάνη, δείχνει πως η παρουσία του U και του Th, όπως και άλλων ιχνοστοιχείων που έχουν βρεθεί στην σύσταση του λιγνίτη, στα εδάφη της λεκάνης έχει μια σαφώς ανθρωπογενή προέλευση από την χρόνια καύση του λιγνίτη στην περιοχή, όπως έχουν δείξει και προηγούμενες μελέτες στην περιοχή.

Όπως προαναφέρθηκε, τα επίπεδα του ουρανίου και του θορίου που μετρήθηκαν στην περιοχή δεν συνιστούν σημαντικό ρύπο, αν και δεν έχουν θεσμοθετηθεί αυστηρά όρια, Ευρωπαϊκά ή Ελληνικά, για το ποιες είναι οι συγκεντρώσεις πάνω από τις οποίες τα στοιχεία αυτά θεωρούνται επιβαρυντικά ή επικίνδυνα. Παρόλα αυτά, οι τιμές για το ουράνιο είναι αυξημένες συγκριτικά με την παγκόσμια μέση περιεκτικότητα των εδαφών (1.9-4.4 mg/kg), ενώ του θορίου είναι οριακά αυξημένες (8.1-11 mg/kg). Η περιοχή από την οποία τα δείγματα εδάφους συλλέχθηκαν, αποτελεί μια περιοχή με σημαντικό αριθμό οικισμών, όπως και έντονης αγροτικής δραστηριότητας, ενώ ταυτόχρονα συνεχίζεται η καύση του λιγνίτη για την παραγωγή ενέργειας. Οι σημερινές τιμές του ουρανίου και του θορίου δεν φαίνονται ανησυχητικές, η μελλοντική τους συσσώρευση ή η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την υγεία των κατοίκων, συνεπώς ενθαρρύνεται η μελλοντική παρακολούθηση των επιπέδων αυτών των σωματιδίων.

- Adamidou, K., Kassoli-Fournaraki, A., Filippidis, A., Christanis, K., Amanatidou, E., Tsikritzis, L., Patrikaki, O., 2007. Chemical investigation of lignite samples and their ashing products from Kardias lignite field of Ptolemais, Northern Greece, *Fuel*, Volume 86, Issue 16, p. 2502-2508.
- Bobach, T., 2008. Natural Neighbor Interpolation: Critical Assessment and New Contributions. Dissertation, Technical University of Kaiserslautern, p. 30-34.
- Cowart, J.B. and Burnett, W.C. 1994. The Distribution of Uranium and Thorium Decay-Series Radionuclides in the Environment—A Review. *Journal of Environmental Quality*, 23: 651-662.
- Ding, D., Fu, P., Li, L., Xin, X., Hu, N., Li, G., 2014. U(VI) ion adsorption thermodynamics and kinetics from aqueous solution onto raw sodium feldspar and acid-activated sodium feldspar. *J Radioanal Nucl Chem* 299, 1903–1909.
- Dixon, B.J., Weed, S.B., Minerals in Soil Environments, Second Edition, Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1989, p. 218-219.
- Ernst, W.H., 1998. The Origin and Ecology of Contaminated, Stabilized and Non-Pristine Soils. Vangronsveld J, Cunningham SC (eds) Metal Contaminated Soils, In Situ Inactivation and Phytoremediation, Springer, Berlin Heidelberg New York, USA, p 17.
- Filippidis, A., Georgakopoulos, A., 1992. Mineralogical and chemical investigation of fly ash from the Main and Northern lignite fields in Ptolemais, Greece. *Fuel*, 71 (4), p. 373-376.
- Filippidis, A., Georgakopoulos, A., and Kassoli-Fournaraki, A., 1996. Mineralogical components of some thermally decomposed lignite and lignite ash from the Ptolemais basin, Greece. *International Journal of Coal Geology*, 30, 309-311.
- Foth, H.D., 1991. *Fundamentals of Soil Science*. John Wiley & Sons, Canada, 11-13.
- Ganatsios, S.S., Tsikritzis, L., Duliu, O., Sawidis T., 2001. NATURAL 228Ra, 226Ra, 40K, AND ARTIFICIAL 137Cs RADIONUCLIDES DISTRIBUTION IN SOIL IN AREAS OF LIGNITE POWER PLANTS OF WESTERN MACEDONIA, *Journal of Trace and Microprobe Techniques*, 19:2, 259-266.
- Georgakopoulos, A., Filippidis, A., Kassoli-Fournaraki, A., 1994. Morphology and trace element contents of the fly ash from main and northern lignite fields, Ptolemais, Greece. *Fuel*, 73, p. 1802-1804.



Georgakopoulos, A., Fillipidis A., Kassoli- Fournaraki A., Fernandez-Turiel J.L. and Llorens J.F., 1996. The content of some trace elements in surface soils and fly ash of Ptolemais lignote basin, Macedonia, Greece. *3rd International Conference on Environmental Pollution*, 16-20/09/1996, Thessaloniki, 114-118.

Georgakopoulos, A., Filippidis, A., Kassoli-Fournaraki, A., Iordanidis, A., Fernandez-Turiel, J.L., Llorens, J.F., Gimeno, D., 2002a. Environmentally Important Elements in Fly Ashes and Their Leachates of the Power Stations of Greece. *Energy Sources*, 24, 83-91.

Georgakopoulos, A., Filippidis, A., Kassoli-Fournaraki, A., Fernandez-Turiel, J.L., Llorens, J.F., Mousty, F., 2002b. Leachability of Major and Trace Elements of Fly Ash from Ptolemais Power Station, Northern Greece, *Energy Sources*, 24:2, 103-113.

Håkanson L. 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14, 975-1001.

Hansford T.S. and Boerngen G.J. 1984. Element Concentrations in Soils and Other Surficial Materials of the Conterminous United States. U.S. *Geological Survey*, Professional paper 1270, 105p.

Hartemink, A.E., Zhang, Y., Bockheim, J.G., Curi, N., Silva, S.H.G., Grauer-Gray, J., Lowe, D.J. and Krasilnikov, P., 2020. Soil horizon variation: A review. *Elsevier*, 148-150.

Hasani, F., Shala, F., Xhixha, G., Xhixha, M.K., Hodolli, G., Kadiri, S., Bylyku, E., Cfarku, F., 2014. Naturally occurring radioactive materials (NORMs) generated from lignite-fired power plants in Kosovo, *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 138, p. 156-161.

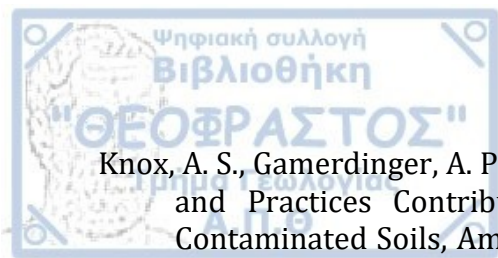
Hore, M., Bhattacharyya, S., Roy, S., Sarkar, D., Biswas, J.K., 2024. Human Exposure to Dietary Microplastics and Health Risk: A Comprehensive Review. *Reviews Env.Contamination (formerly: Residue Reviews)* 262, 14.

Houchin, K.S., Tissot, L.H.F., Ibañez-Mejia, M., Newville, M., Lanzirrotti, A., Pavia, F., Rossman, G., 2024. Uranium oxidation states in zircon and other accessory phases. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 381, Pages 156-176, ISSN 0016-7037.

Hui Zhao, Sheng-Hua Li, 2005. Internal dose rate to K-feldspar grains from radioactive elements other than potassium, *Radiation Measurements*, Volume 40, Issue 1, Pages 84-93, ISSN 1350-4487.

I.G.M.E, 1980. Geological Maps of Greece, Sheet: Kozani. Scale 1:50.000. Department of Geological Maps, Athens (1983).

- Iida, Y., Yamaguchi, T., Tanaka, T., & Hemmi, K., 2016. Sorption behavior of thorium onto granite and its constituent minerals. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 53(10), 1573-1584.
- Iimura, K., Ito, H., Chino, M., Morishita, T., Hirata, H., 1977. Behaviour of contaminant heavy metals in soil-plant system. *Proc. Inst. SEM*, p. 357.
- Iordanidis, A., Georgakopoulos, A., Filippidis A., Kassoli-fournaraki, A., 2001. A Correlation Study of Trace Elements in Lignite and Fly Ash Generated in a Power Station, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 79:2, 133-141.
- Kabata-Pendias, A., 2011. *Trace Elements in Soils and Plants*, 4th ed., Taylor and Francis Group, LLC, U.S.A, p. 37-45, 50, 82-83, 158-164, 505.
- Kantiranis, N., Filippidis, A., Tsirambides, A., Christaras, B. and Kassoli-Fournaraki, A., 1998. Volatilization of arsenic during calcination of crystalline limestone from Agios Panteleimonas, Florina, Macedonia, Greece. *5th International Conference on Environmental Pollution: Toxic Metals, Thessaloniki, Greece*, 73-78.
- Kantiranis, N., Tsirambides, A., Filippidis, A., and Christaras, B., 1999. Technological characteristics of the calcined limestone from Agios Panteleimonas, Macedonia, Greece. *Materials and Structures*, 32, 546-551.
- Kantiranis, N., Filippidis, A., Tsirambides, A., Kassoli-Fournaraki, A. and Christaras, B., 2000. Environmental uses of lime from Agios Panteleimonas, Florina, Macedonia, Greece. *5th International Conference on Environmental Pollution, Thessaloniki, Greece*, 192-198.
- Kassoli-Fournaraki, A., Georgakopoulos, A., Michailidis, A. and Filippidis, A., 1993. Morphology, mineralogy and chemistry of the respirable-size (<5μm) fly ash fraction from the Main and Northern lignite fields in Ptolemais, Macedonia, Greece. In: *Current Research in Geology Applied to Ore Deposits* (P. Fenoll Hach-Ali, J. Torres-Ruiz, F. Gervilla, eds), La Guioconda. *Second Biennial SGA Meeting, Granada, Spain*, 727-730.
- Kazakis, N., Kantiranis, N., Kalaitzidou, K., Kaprara, E., Mitrakas, M., Frei, R., Vargemezis, G., Tsourlos, P., Zouboulis, A., and Filippidis, A., 2017. Origin of hexavalent chromium in groundwater: The example of Sarigkiol Basin, Northern Greece. *Science of the Total Environment*, 552-566.
- Kazakis, N., Kantiranis, N., Kalaitzidou, K., Kaprara, E., Mitrakas, M., Frei, R., Vargemezis, G., Vogiatzis, D., Zouboulis, A., and Filippidis, A., 2018. Environmentally available hexavalent chromium in soils and sediments impacted by dispersed fly ash in Sarigkiol basin (Northern Greece). *Environmental Pollution*, 235, 635-637.



Knox, A. S., Gamberdinger, A. P., Adriano, D. C., Kolka, R. K., Kaplan, D. I., 1999. Sources and Practices Contributing to Soil Contamination. In Bioremediation of Contaminated Soils, American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., 677 South Segoe Road, Madison, Wisconsin 53711, USA.

Kolovos, N., Georgakopoulos, A., Filippidis, A., Kavouridis, C., 2002. Environmental Effects of Lignite and Intermediate Steriles Coexcavation in the Southern Lignite Field Mine of Ptolemais, Northern Greece, *Energy Sources*, 24:6, 561-573.

Kostakis, G., 2009. Characterization of the fly ashes from the lignite burning power plants of northern Greece based on their quantitative mineralogical composition, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 166, Issues 2–3, p. 972-977.

Koukouzas, N., Zeng, R., Perdikatsis, V., Xu, W., Kakaras, E., 2006. Mineralogy and geochemistry of Greek and Chinese coal fly ash, *Fuel*, Volume 85, Issue 16, 2006, p. 2301-2309.

Koukouzas, N., Kalaitzidis, S., Ward, C., 2010. Organic petrographical, mineralogical and geochemical features of the Achlada and Mavropigi lignite deposits, NW Macedonia, Greece, *International Journal of Coal Geology*, Volume 83, Issue 4, p. 387-395.

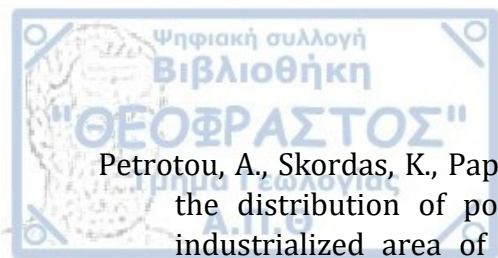
Krauskopf K. and Bird D. 1995. Introduction to Geochemistry. McGraw-Hill, 637p.

Megalovasilis, P., Papastergios, G. & Filippidis, A. 2013. Behavior study of trace elements in pulverized lignite, bottom ash, and fly ash of Amyntaio power station, Greece. *Environ Monit Assess* 185, 6071–6076.

Megalovasilis, P., Papastergios, G., & Filippidis, A. 2016. Mineralogy, geochemistry and leachability of ashes produced after lignite combustion in Amyntaio Power Station, northern Greece. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(10), 1385–1392.

Millar, C.E., Turk, L.M., Fundamentals of Soil Science, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1947, p. 1-3, 30-33.

Petrotou, A., Skordas, K., Papastergios, G., and Filippidis, A., 2010. Concentrations and bioavailability of potentially toxic elements in soils of an industrialised area of northwestern Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19, 2769-2776.



Petrotou, A., Skordas, K., Papastergios, G., and Filippidis, A., 2012. Factors affecting the distribution of potentially toxic elements in surface soils around an industrialized area of northwestern Greece. *Environmental Earth Sciences*, Springer, 65, No.3, 829.

Mason, B. and Moore, C.B., 1982. *Principles of geochemistry, 4th Edition*, John Willey & Sons, New York.

Nanos, N., Grigoratos, T., Rodríguez Martín, J.A., Samara, C. Scale-dependent correlations between soil heavy metals and As around four coal-fired power plants of northern Greece. *Stoch Environ Res Risk Assess* 29, 1531–1543 (2015).

Noli, F., Tsamos, P., 2016. Concentration of heavy metals and trace elements in soils, waters and vegetables and assessment of health risk in the vicinity of a lignite-fired power plant, *Science of The Total Environment*, Volumes 563–564, 377–385.

Noli, F., Tsamos, P. & Stoulos, S., 2017. Spatial and seasonal variation of radionuclides in soils and waters near a coal-fired power plant of Northern Greece: environmental dose assessment. *J Radioanal Nucl Chem* 311, 331–338.

Papastefanou, C. Radioactivity of coals and fly ashes. *J Radioanal Nucl Chem* 275, 29–35 (2008).

Priya, S., Priyadarshini, N., Ilaiyaraja Perumal, Suresh, G., Mohanty, B., Prasath, M., 2024. Adsorption of thorium (IV) from aqueous solutions using mesoporous TiO₂: Kinetics, isotherm and thermodynamics. *Chemical Physics Impact*, Volume 8, 100638, ISSN 2667-0224,

Seredin V.V., Finkelman, R.B., 2008. Metalliferous coals: A review of the main genetic and geochemical types, *International Journal of Coal Geology*, Volume 76, Issue 4, p. 253-28.

Sheppard, M.I., 198. The environmental behaviour of uranium and thorium. Atomic Energy of Canada Limited, Pinawa, Manitoba, Canada.

Stalikas, C., Chaidou, C., Pilidis, G., 1997. Enrichment of PAHs and heavy metals in soils in the vicinity of the lignite-fired power plants of West Macedonia (Greece). *Science of The Total Environment*, Volume 204, Issue 2, p 135-146.

Strongylis S., 2023. Three-dimensional modelling and geochemical anomaly mapping of the gold-endowed Hattu shist belt, eastern Finland. Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki.

Suloway, J.J., Roy, W.R., Skelly, T.M., Dickerson, T.R., Schuller, R.M., and Griffin, R.A., 1983. Chemical and toxicological properties of coal fly ash. *Illinois Dept. of Energy and Natural Resources, State Geological Survey Division, State Natural History Survey Division*, 105, 1-70.

Tadmor, J., 1986. Radioactivity from coal-fired power plants: A review *J. Environ. Radioact.*, 4, p. 177-204.

Tsikritzis, L.I., Fotakis, M., Tzimkas, N., Kolovos, N., Tsikritzi, R., 2008. Distribution and correlation of the natural radionuclides in a coal mine of the West Macedonia Lignite Center (Greece), *Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 99, Issue 2, p. 230-237.

Xu, H., Zhang, C., 2023. Development and applications of GIS-based spatial analysis in environmental geochemistry in the big data era. *Environ Geochem Health* 45, 1079–1090.

Zhang, Y., Shi, M., Wang, J., Yao, J., Cao, Y., Romero, C., Pan, W., 2016. Occurrence of uranium in Chinese coals and its emissions from coal-fired power plants, *Fuel*, Volume 166, p. 404-409.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Γεωργακόπουλος, Α., Φιλιππίδης, Α., Fernandez-Turiel, J.L., Κασώλη-Φουρναράκη, Α., και Ιορδανίδης, Α., 2002. Λιθογενής και ανθρωπογενής προέλευση των ιχνοστοιχείων σε επιφανειακά εδάφη της λιγνιτοφόρου λεκάνης Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης. *6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Πρακτικά, 03-06/10/2002, Θεσσαλονίκη*, σελ 335-34.

Καντηράνης Ν., Φιλιππίδης Α., Χρηστάρας Β., Τσιραμπίδης Α., και Κασώλη-Φουρναράκη Α., 1999. Ο ρόλος της οργανικής ύλης των ανθρακικών πετρωμάτων στη δραστικότητα της παραγόμενης ασβέστου. *Δελτίου της Γεωλογικής Ελληνικής Εταιρείας*, 33, σελ 105-111.

Καντηράνης Ν., Τσιραμπίδης Α., Φιλιππίδης Α., Χρηστάρας Β., και Κασώλη-Φουρναράκη Α., 2000α. Μελέτη του κρυσταλλικού ασβεστολίθου Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας. *1ο Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, Πρακτικά, 12-13/02/2000, Κοζάνη, σελ 184-195.

Καντηράνης Ν., Φιλιππίδης Α., Τσιραμπίδης Α., Χρηστάρας Β., και Κασώλη-Φουρναράκη Α., 2000β. Υψηλού-ασβεστίου άσβεστος και υδράσβεστος του ασβεστολίθου Αγίου Παντελεήμονα Φλώρινας για χρήση στην κατεργασία νερού. *1ο Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, Πρακτικά, 12-13/02/2000, Κοζάνη, σελ 117-183.

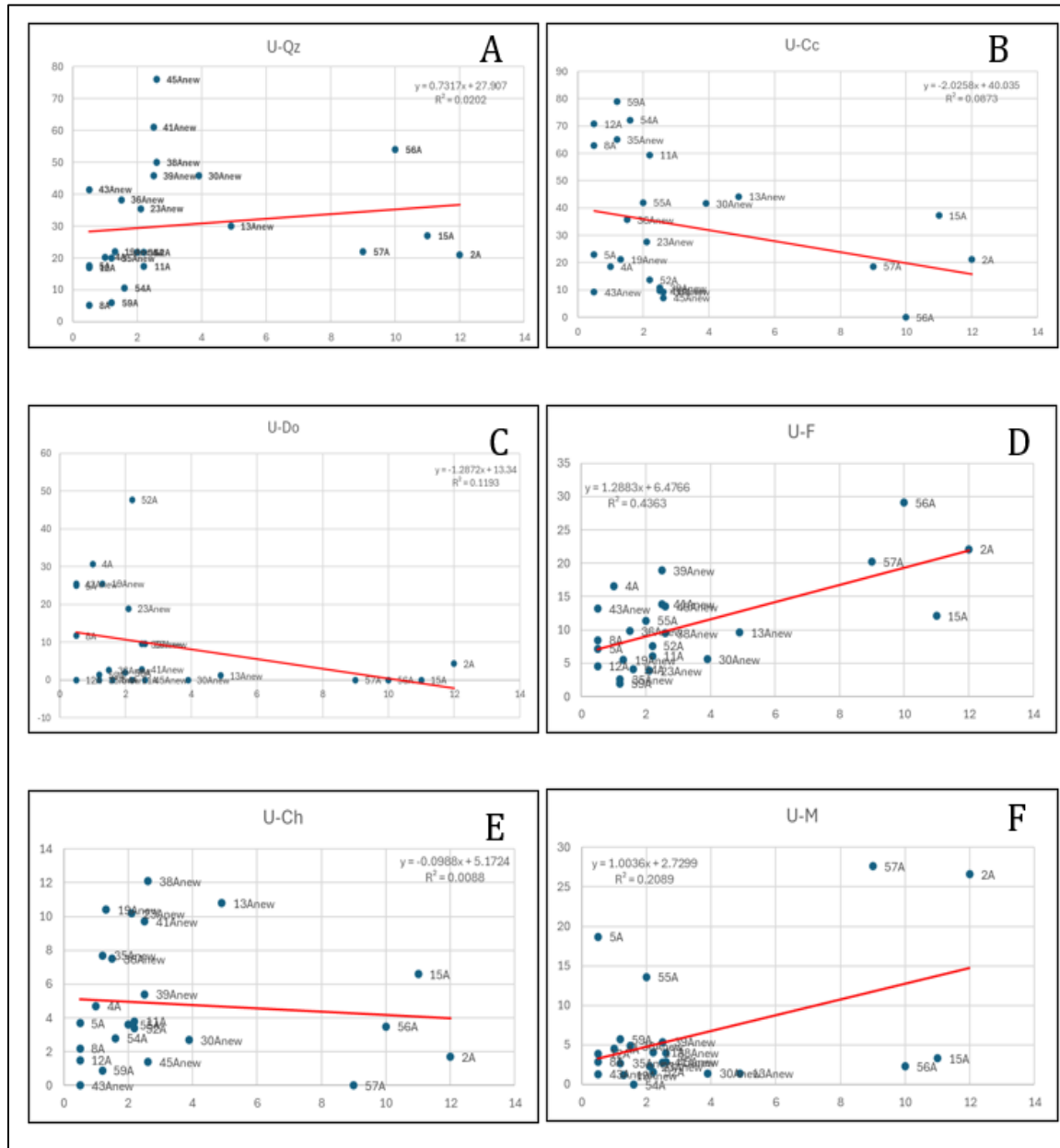
Καντηράνης, Ν., Μήτρακας, Μ., Φιλιππίδης, Α., Βαργεμέζης, Γ., Ζουμπούλης, Α., Τσούρλος, Π., Φίκος, Η., Βαμβακάρης, Δ., Καραγιάννη, Ε., Παραδεισοπούλου, Π., Καζάκης, Ν., Βογιατζής, Δ., Καπράρα, Ε., Καλαϊτζίδου, Κ., Δρακούλης, Α., Ιωαννίδης, Μ., Κόλλιας, Π., και Γεωργίου, Ι., 2016. Εκτίμηση της προέλευσης του Cr(VI) στο υπόγειο νερό ύδρευσης των Δημοτικών Διαμερισμάτων Ακρινής - Αγίου Δημητρίου - Ρυακίου του Δήμου Κοζάνης. *Τελική έκθεση, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Τμήμα Γεωλογίας και Τμήμα Χημείας*, σελ. 7-32, 85-105, 135-243.

Μουντράκης, Δ., 2020. Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας, Δεύτερη Έκδοση, UNIVERSITY STUDIO PRESS A.E., Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, σελ 91-102.

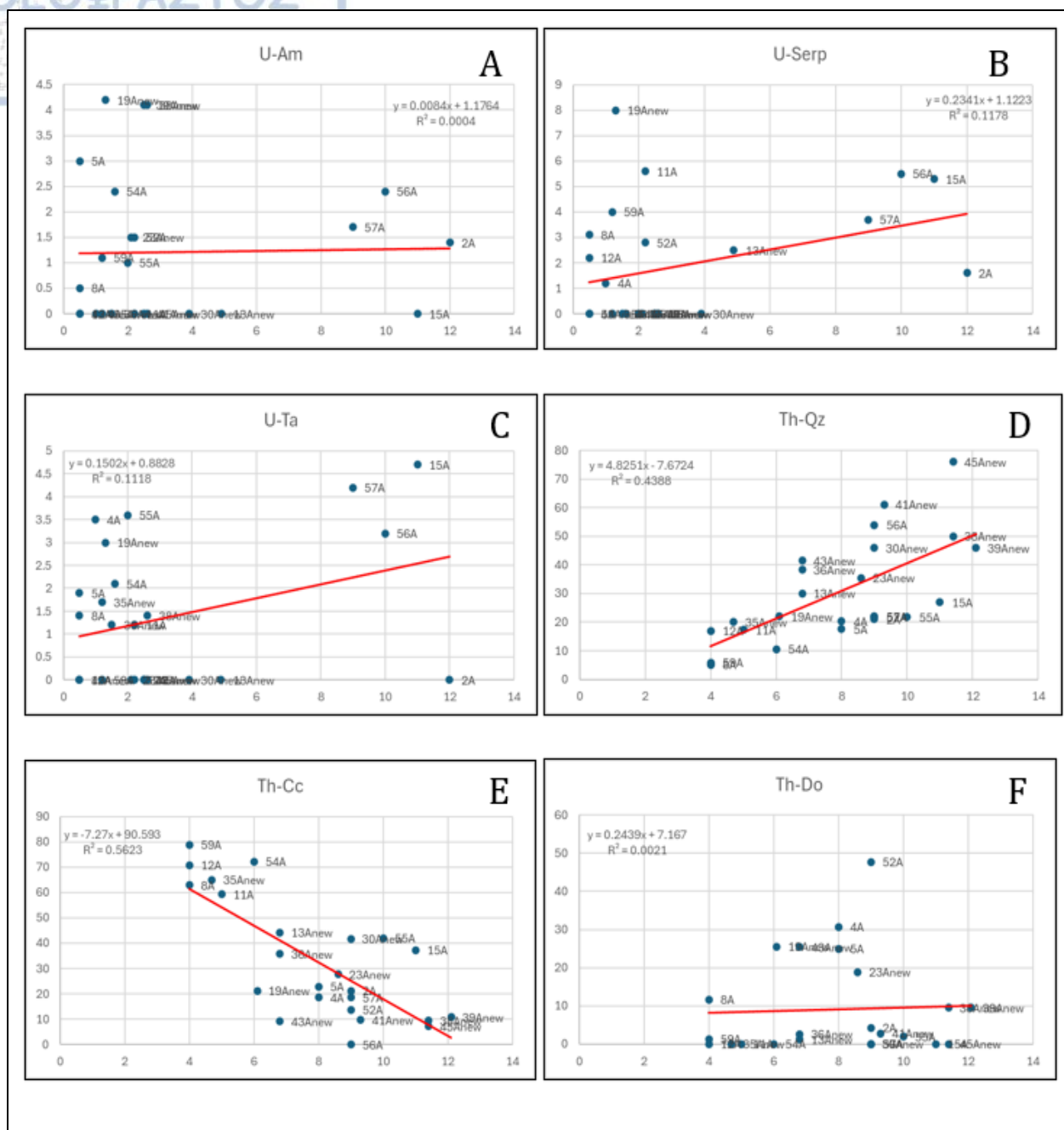
Παυλίδης, Σ., 1985. Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας (Δ. Μακεδονία), Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ, σελ 38-45.

Σαχανίδης, Χ., Γεωργακόπουλος, Α., Φιλιππίδης, Α., και Κασώλη-Φουρναράκη, Α., 2001. Περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία των μαργαϊκών ενστρώσεων της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, Δ.Μακεδονία Δ. *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, 34(3), σελ. 1115-1122 .

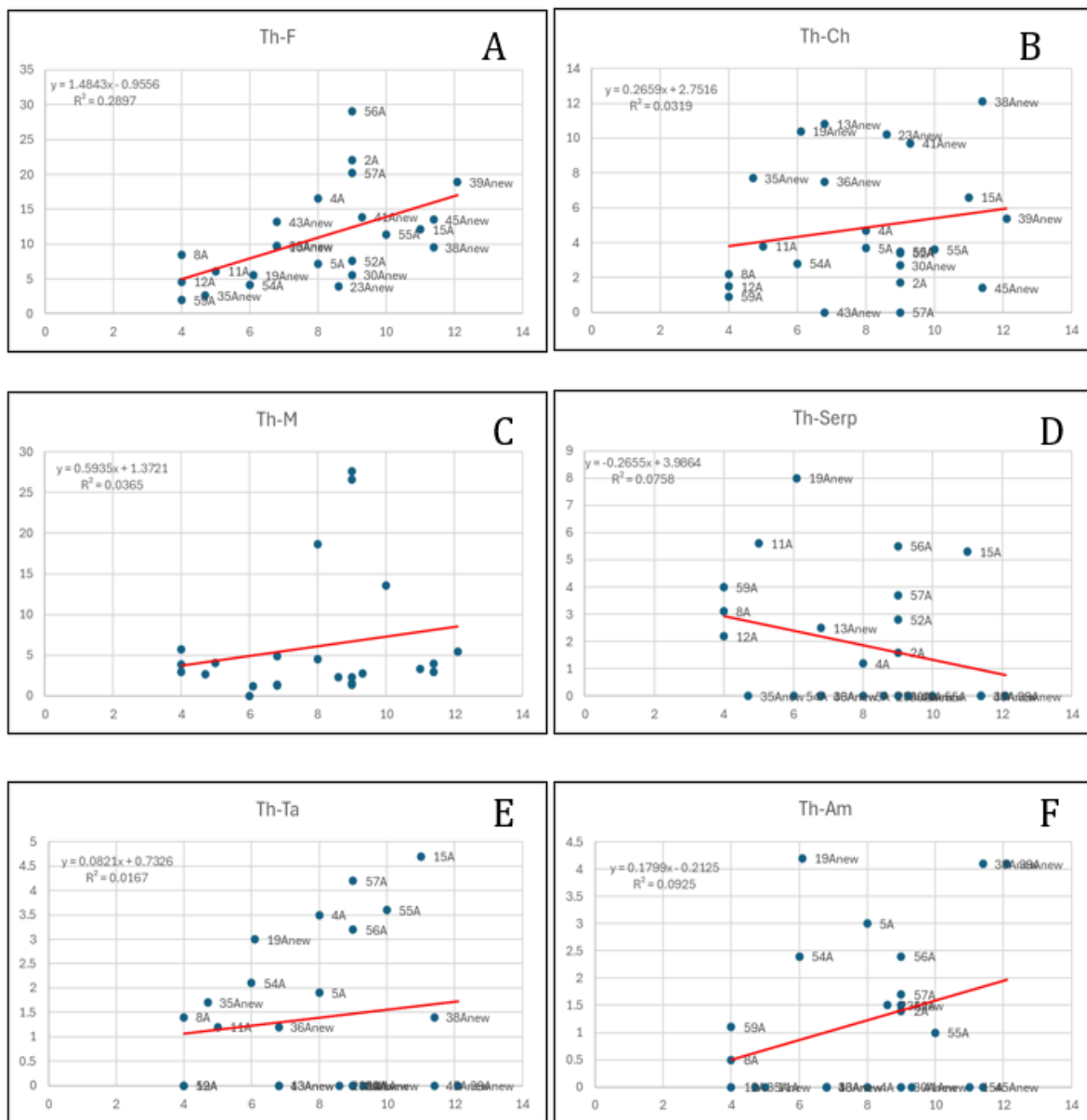
Χρυσικοπούλου Χ. Β., 2023. – Ορυκτολογική, χημική και μορφολογική μελέτη μαγνητικών σωματιδίων στα εδάφη της λεκάνης Σαριγκιόλ, Κοζάνη και η περιβαλλοντική τους σημασία, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.



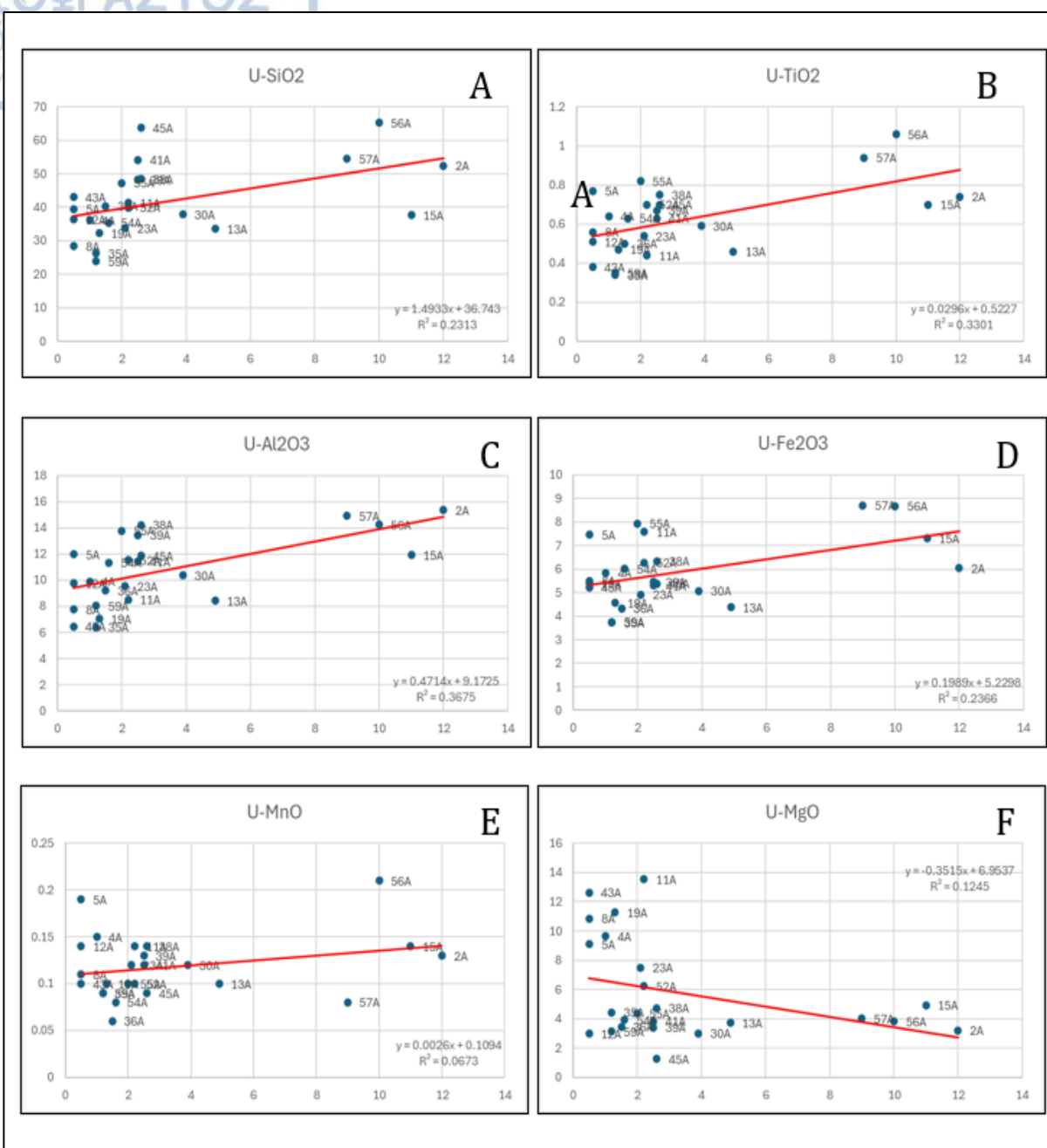
Σχήμα Ι.1: (α) Συσχετισμός U με χαλαζία, (β) Συσχετισμός U με ασβεσίτη, (γ) Συσχετισμός U με δολομίτη, (δ) Συσχετισμός U με αστρίους, (ε) Συσχετισμός U με χλωρίτη, (φ) Συσχετισμός U με μοσχοβίτη.



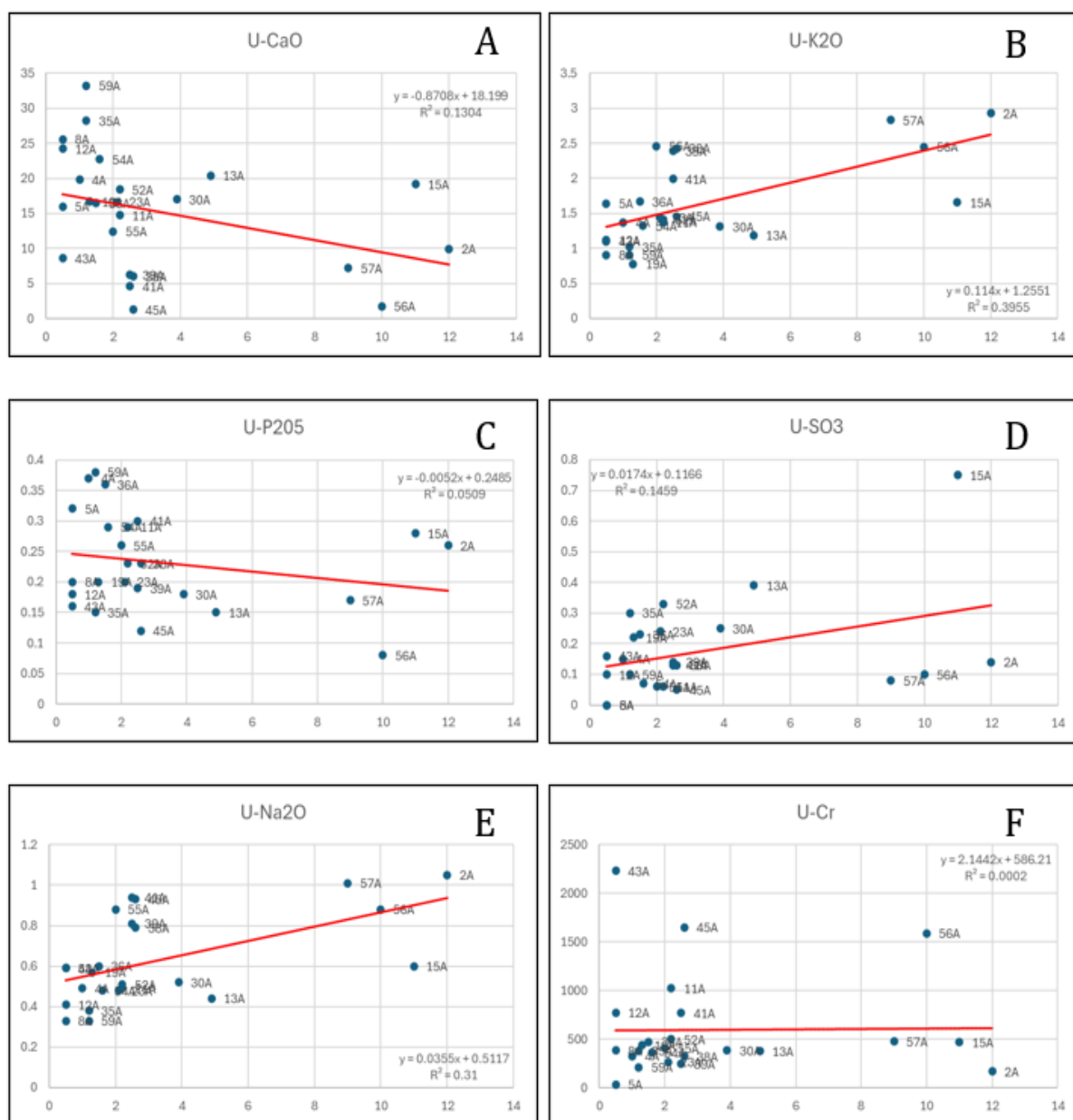
Σχήμα 1.2: (α) Συσχετισμός U με αμιφβόλους, (β) Συσχετισμός U με σερπεντίνη, (γ) Συσχετισμός U με τάλη, (δ) Συσχετισμός Th με χαλαζία, (ε) Συσχετισμός Th με ασβεσίτη, (ς) : Συσχετισμός Th με δολομίτη.



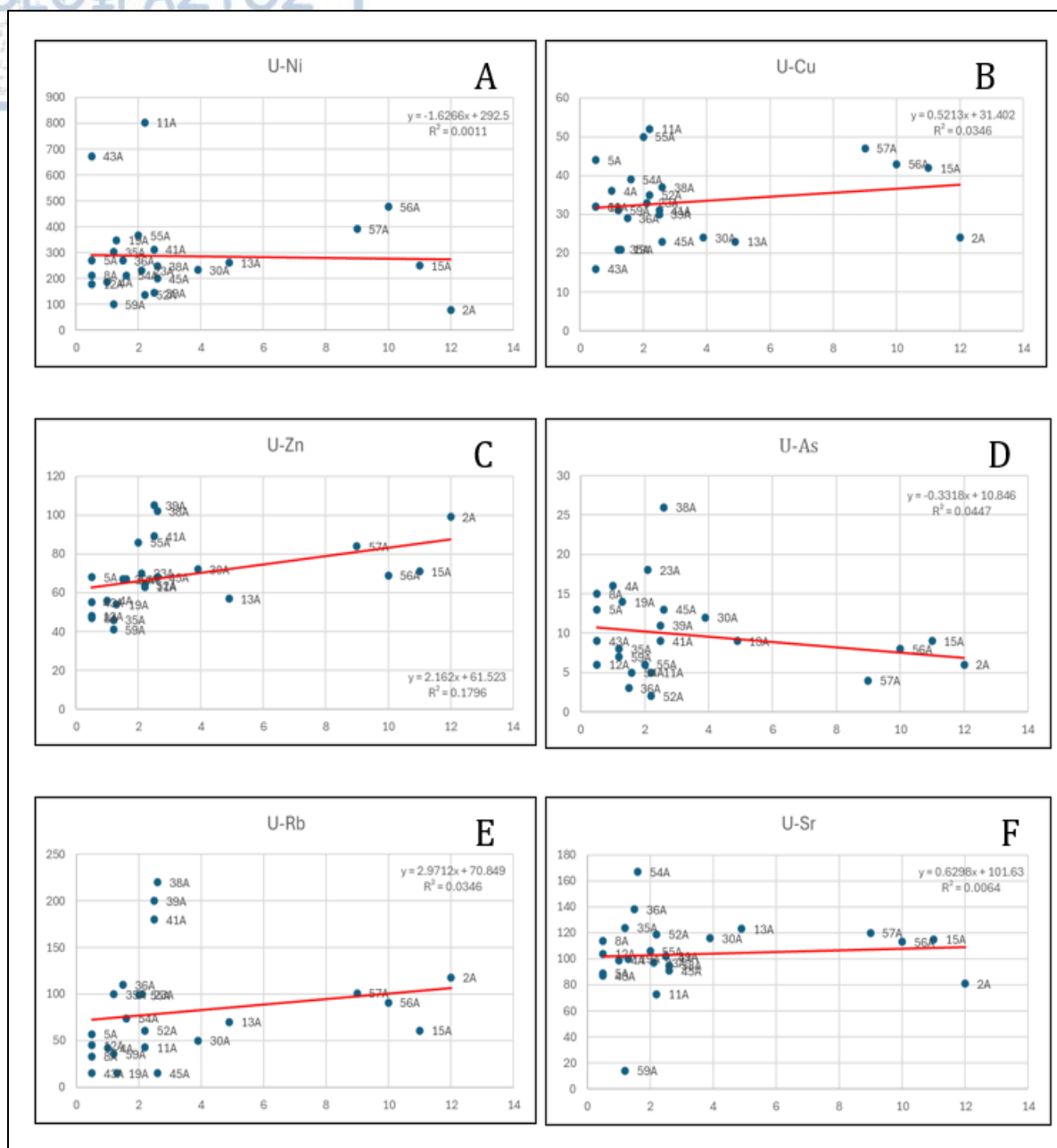
Σχήμα 1.3: (a) : Συσχετισμός Th με ασπίριους, (b) Συσχετισμός Th με χλωρίτη, (c) Συσχετισμός Th με μοσχοβίτη, (d) Συσχετισμός Th με σερπεντίνη, (e) Συσχετισμός Th με τάλη, (f) Συσχετισμός Th με αμφιβόλους.



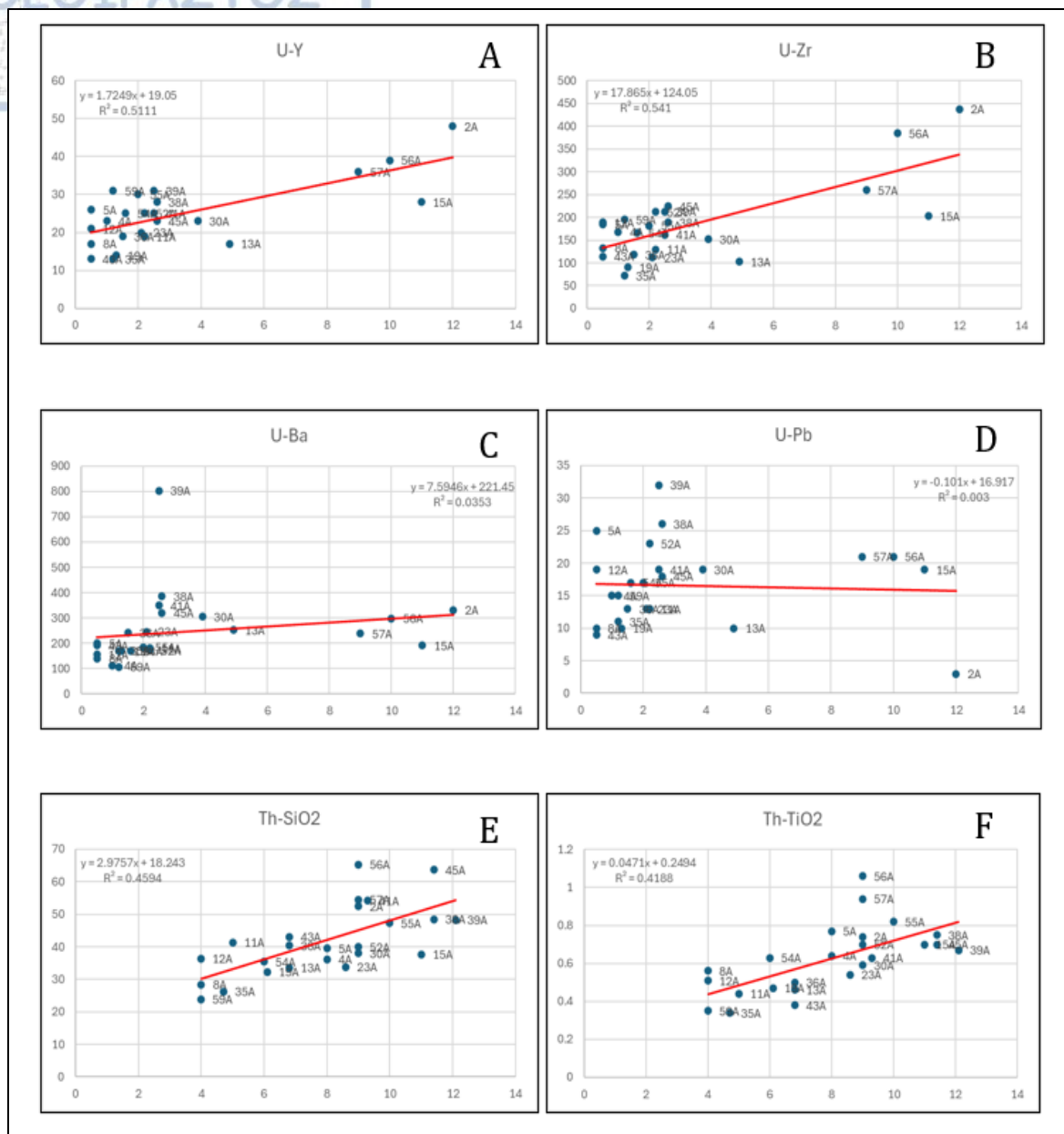
Σχήμα 14: (α) Συσχετισμός U με SiO₂, (β) Συσχετισμός U με TiO₂, (γ) Συσχετισμός U με Al₂O₃, (δ) Συσχετισμός U με Fe₂O₃, (ε) Συσχετισμός U με MnO, (ς) Συσχετισμός U με MgO.



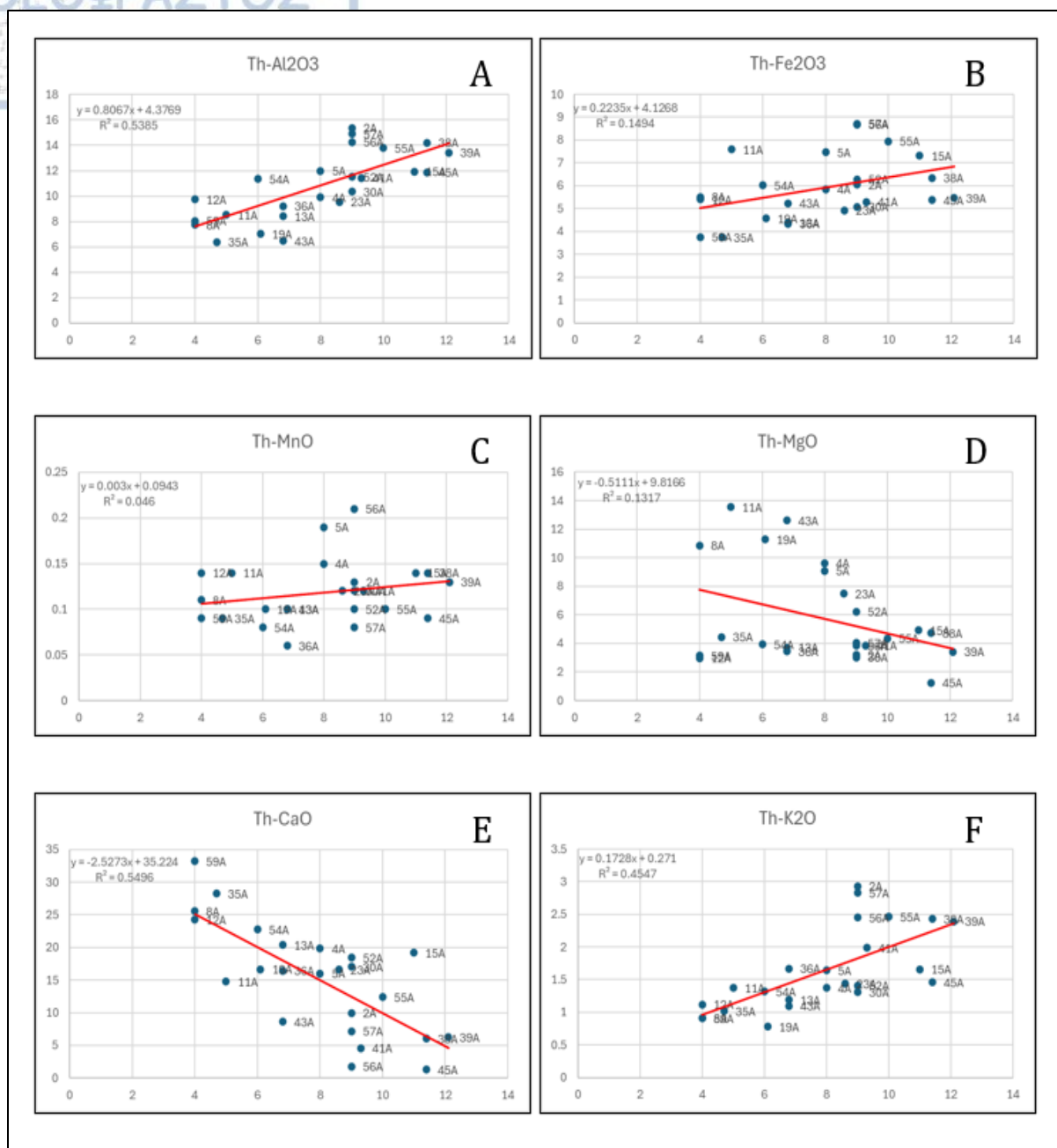
Σχήμα 1.5: (α) Συσχετισμός U με CaO, (β) Συσχετισμός U με K2O, (γ) Συσχετισμός U με P2O5, (δ) Συσχετισμός U με SO3, (ε) Συσχετισμός U με Na2O, (ς) Συσχετισμός U με Cr.



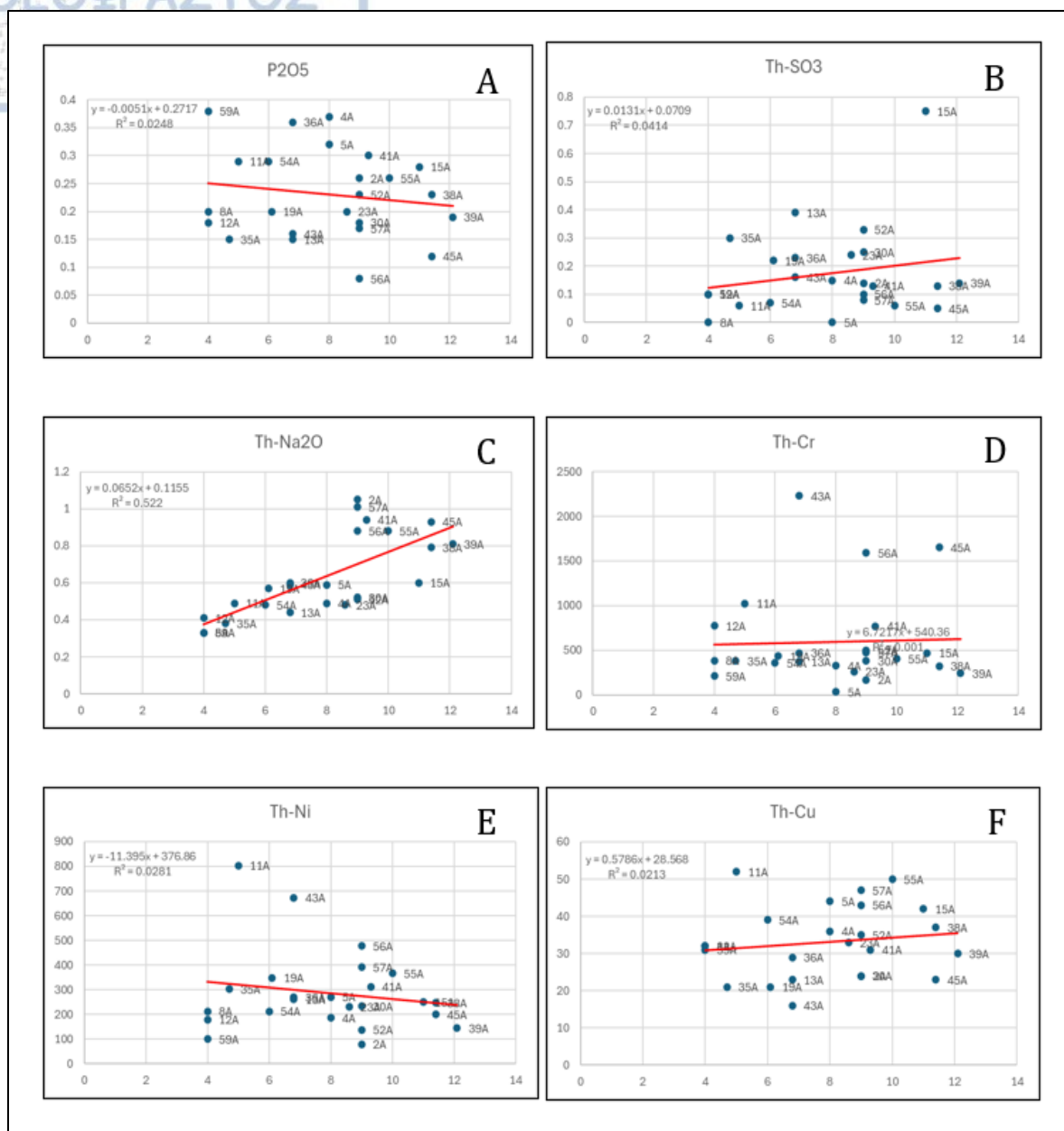
Σχήμα 1.6: (a) Συσχετισμός U με Ni, (b) Συσχετισμός U με Cu, (c) Συσχετισμός U με Zn, (d) Συσχετισμός U με As, (e) Συσχετισμός U με Rb, (f) Συσχετισμός U με Sr.



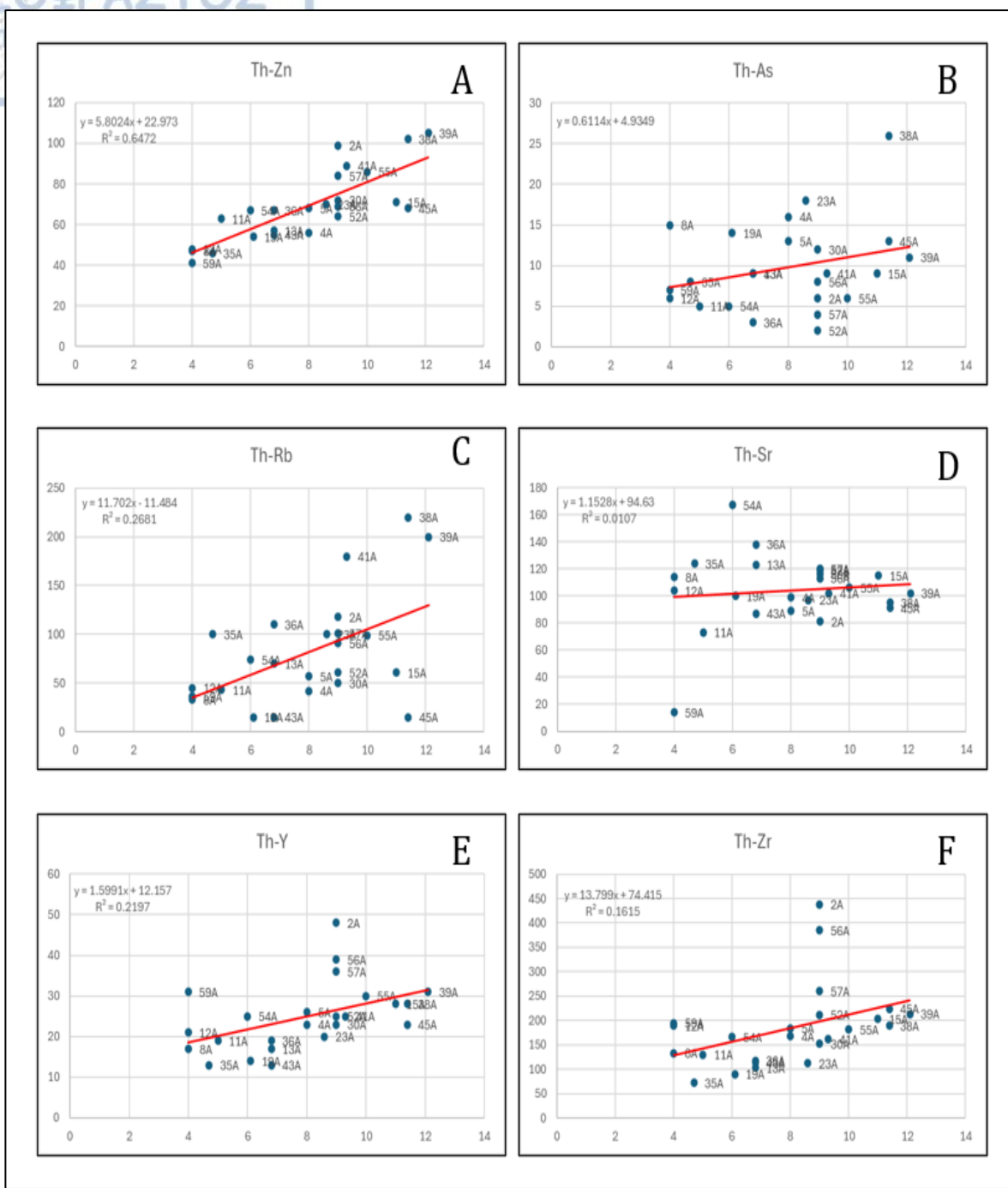
Σχήμα 1.7: (α) Συσχετισμός U με Y, (β) Συσχετισμός U με Zr, (γ) Συσχετισμός U με Ba, (δ) Συσχετισμός U με Pb, (ε) Συσχετισμός Th με SiO₂, (ς) Συσχετισμός Th με TiO₂.



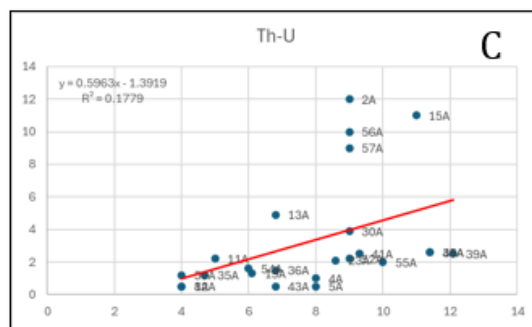
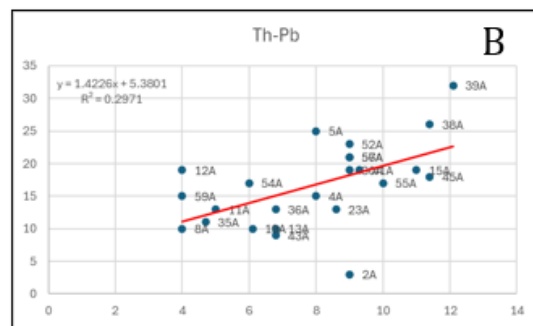
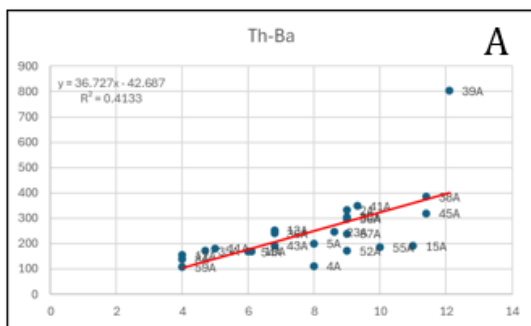
Σχήμα 1.8: (α) Συσχετισμός Th με Al₂O₃, (β) Συσχετισμός Th με Fe₂O₃ (γ) Συσχετισμός Th με MnO (δ) Συσχετισμός Th με MgO, (ε) Συσχετισμός Th με CaO (ς) Συσχετισμός Th με K₂O.



Σχήμα 1.9: (a) Συσχετισμός Th με P2O5, (b) Συσχετισμός Th με SO3, (c) Συσχετισμός Th με Na2O, (d) Συσχετισμός Th με Cr, (e) Συσχετισμός Th με Ni, (f) Συσχετισμός Th με Cu.

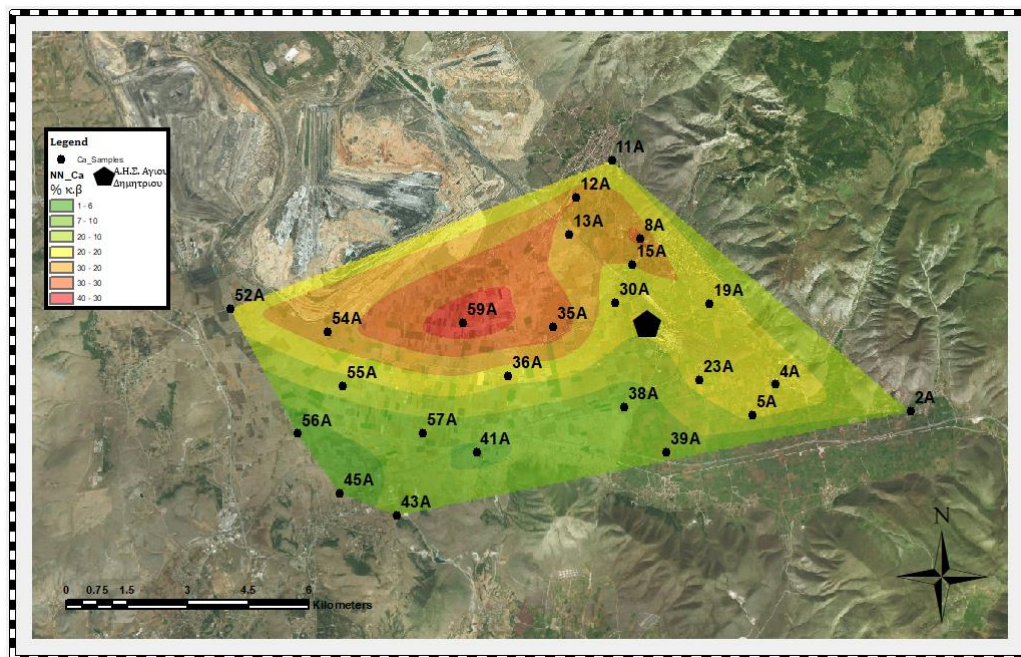


Σχήμα 1.10: (α). Συσχετισμός Th με Zn, (β) Συσχετισμός Th με As, (γ) Συσχετισμός Th με Rb, (δ) Συσχετισμός Th με Sr, (ε) Συσχετισμός Th με Y, (ς) Συσχετισμός Th με Zr.

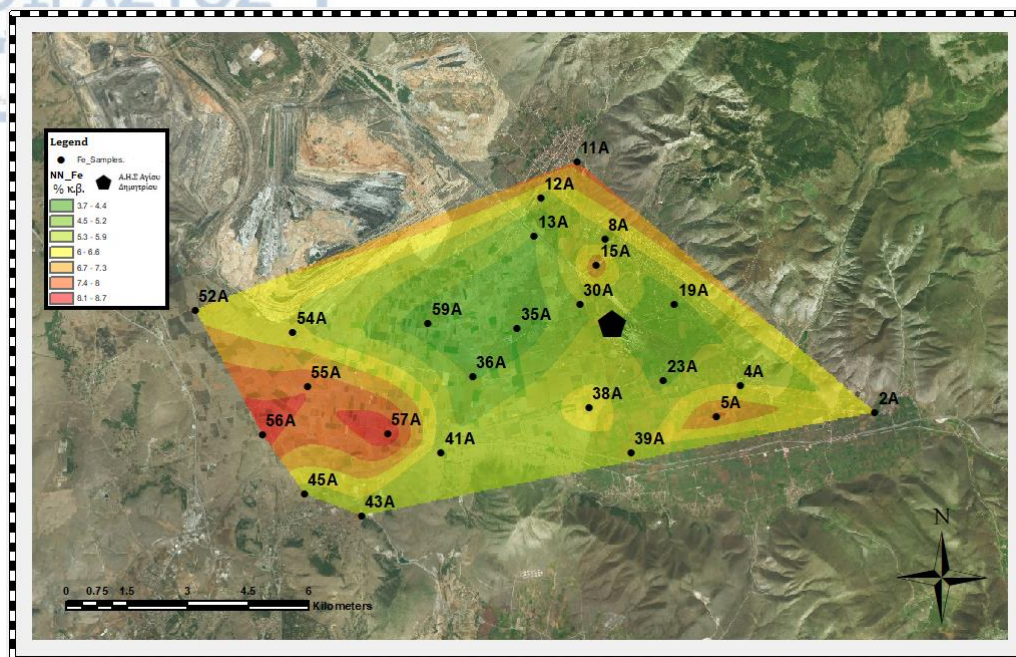


Σχήμα Ι.11: (α) Συσχετισμός Th με Ba, (β) Συσχετισμός Th με Pb, (γ) Συσχετισμός Th με U.

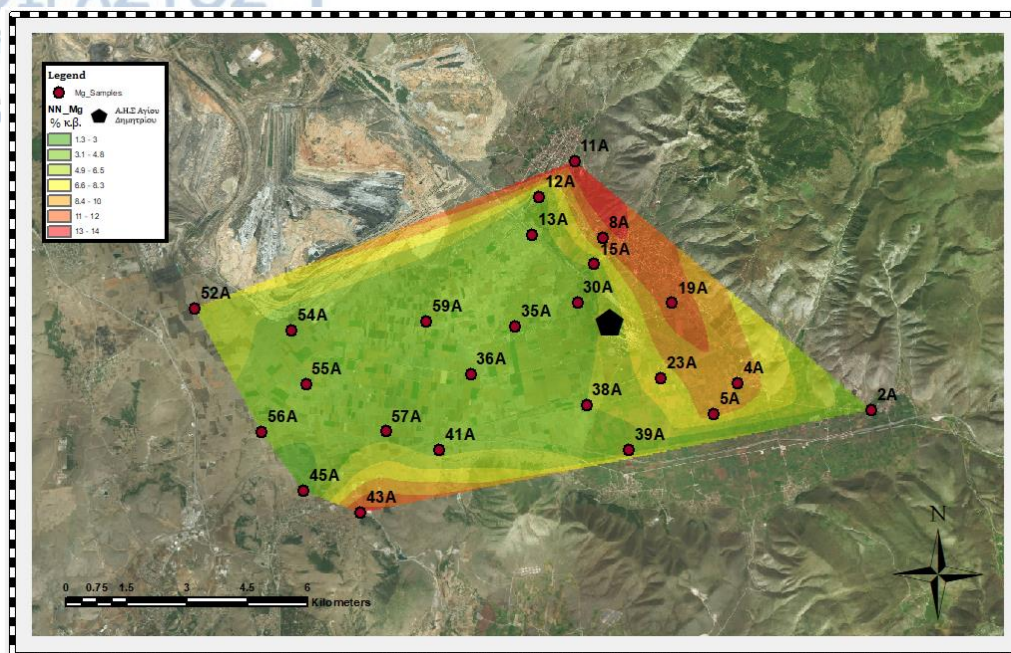
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: Λοιποί χάρτες κατανομής και μοντέλα πρόβλεψης.



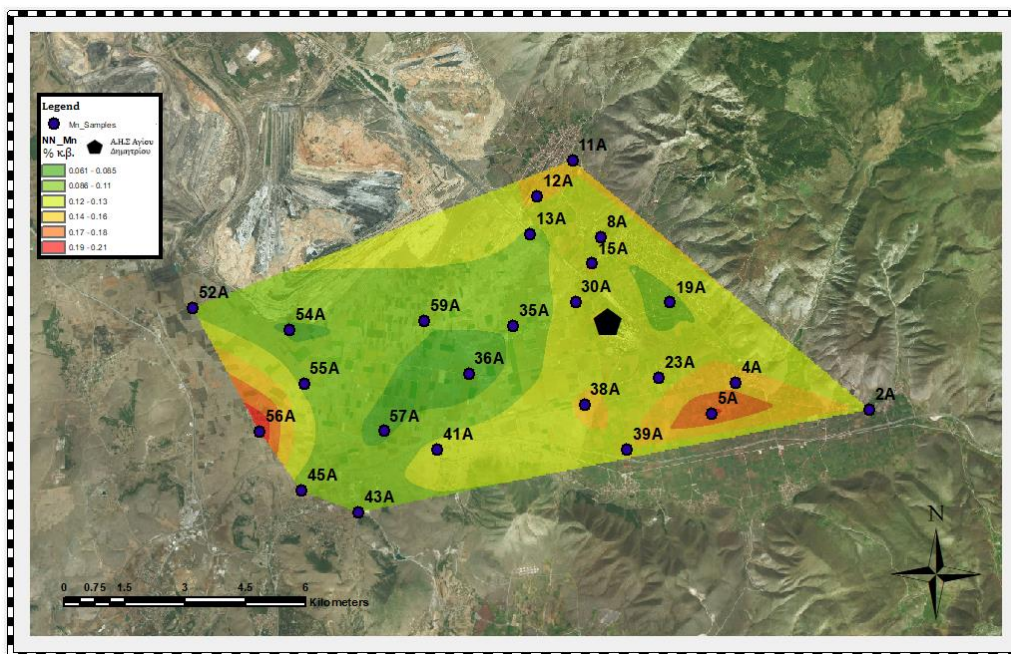
Εικόνα II.1: Γεωχημική κατανομή του CaO στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο *Natural Neighbor*.



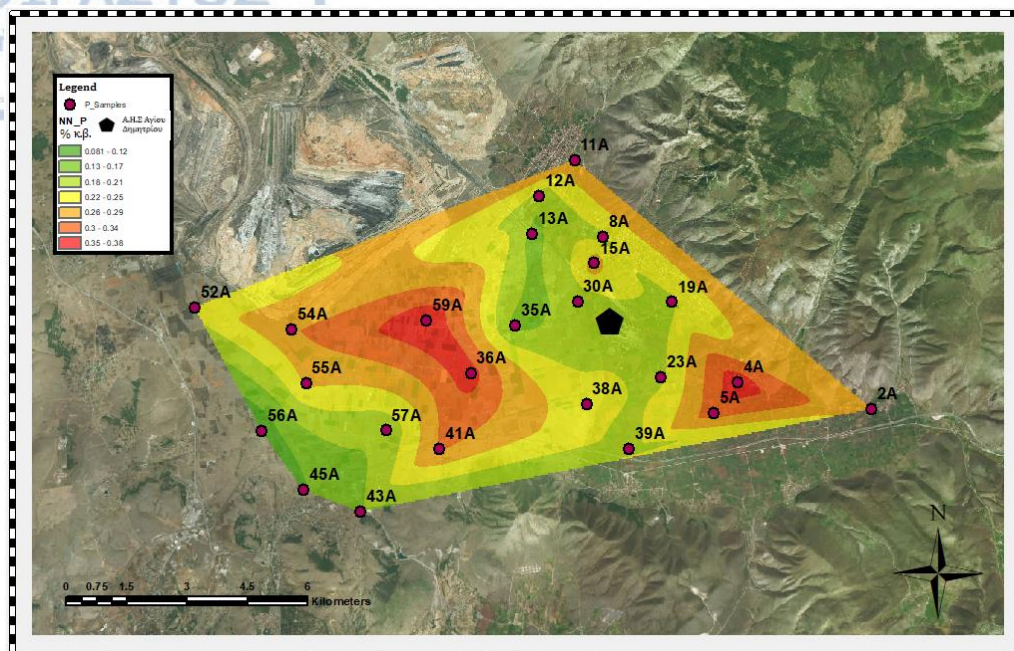
Εικόνα II.2: Γεωχημική κατανομή του Fe₂O₃ στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



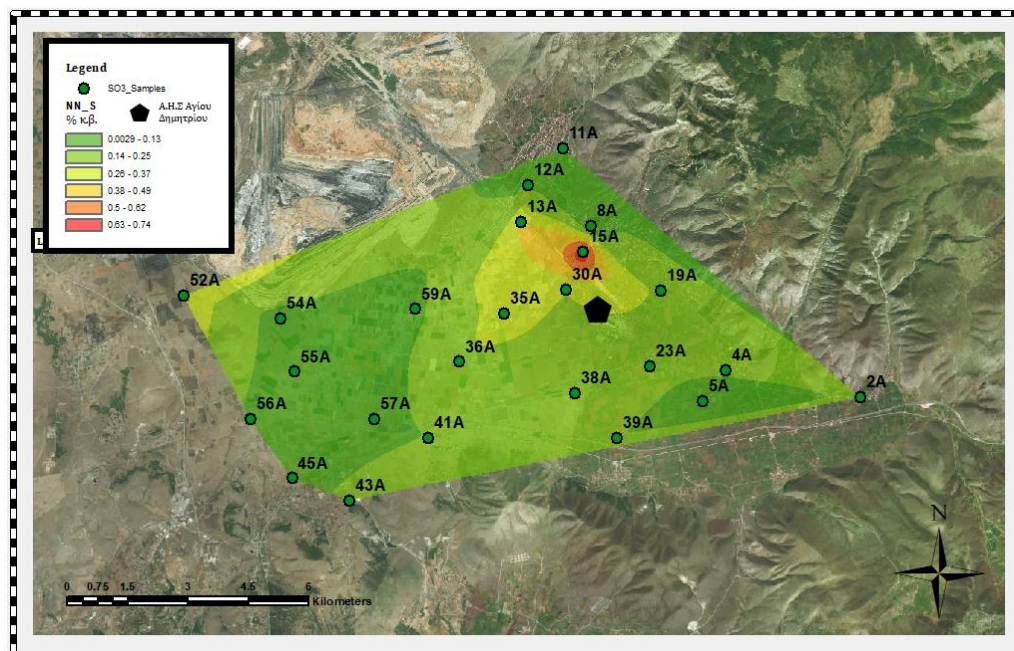
Εικόνα II.3: Γεωχημική κατανομή του MgO στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο *Natural Neighbor*.



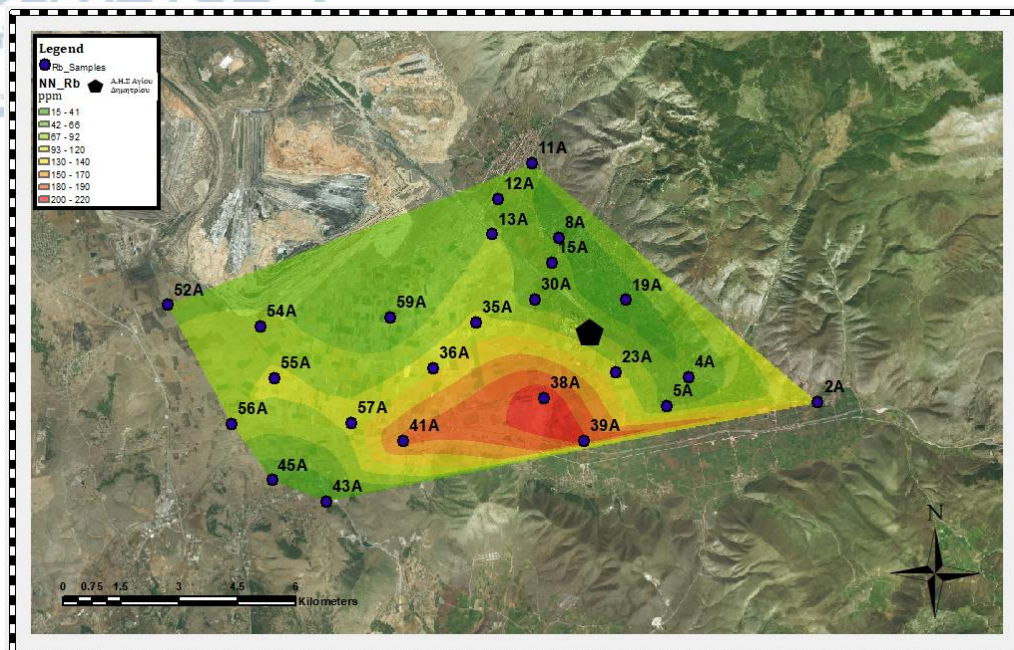
Εικόνα II.4: Γεωχημική κατανομή του MnO στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο *Natural Neighbor*.



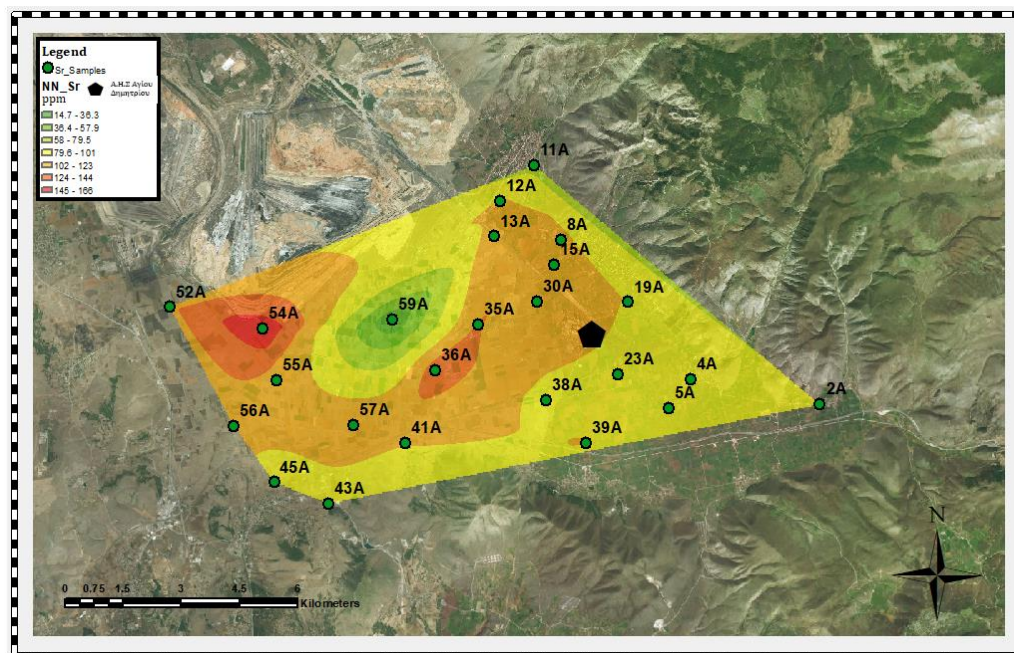
Εικόνα II.5: Γεωχημική κατανομή του P_2O_5 στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



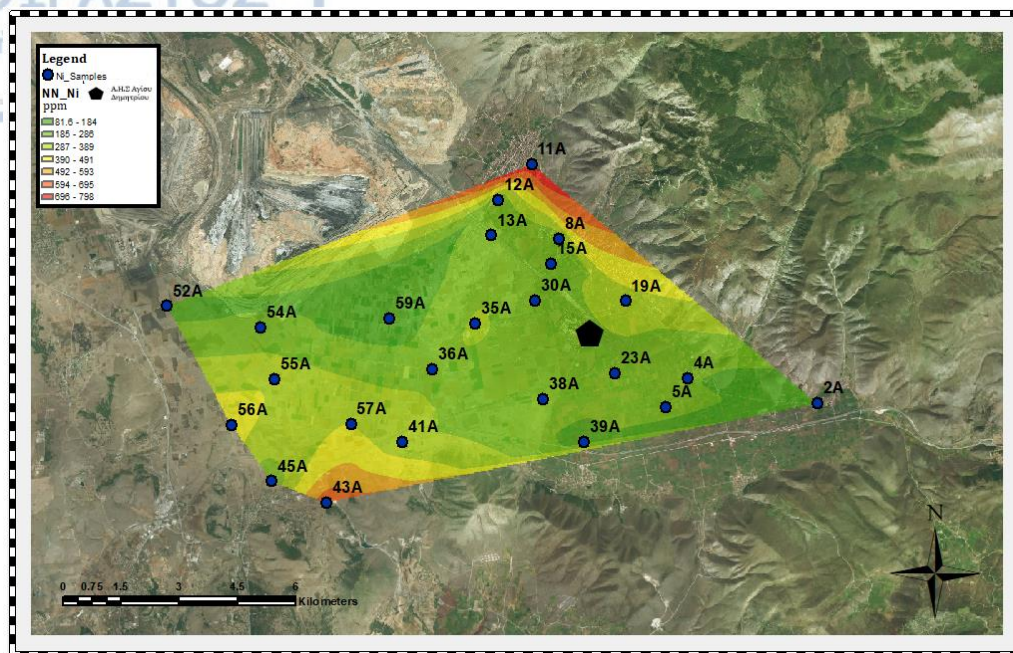
Εικόνα II.6: Γεωχημική κατανομή του SO_3 στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



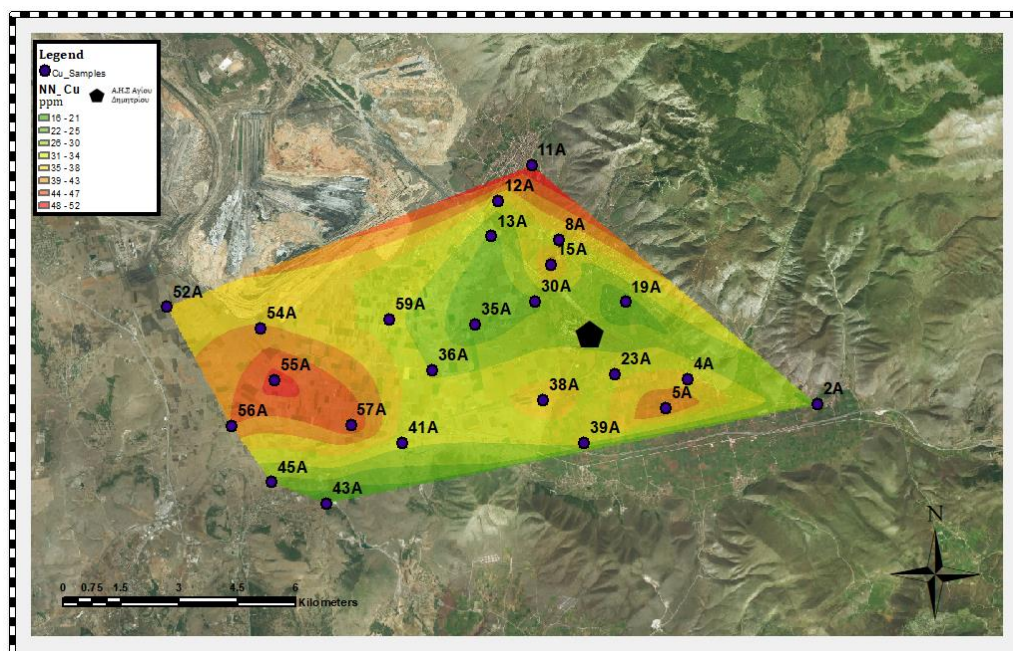
Εικόνα II.7: Γεωχημική κατανομή του Rb στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



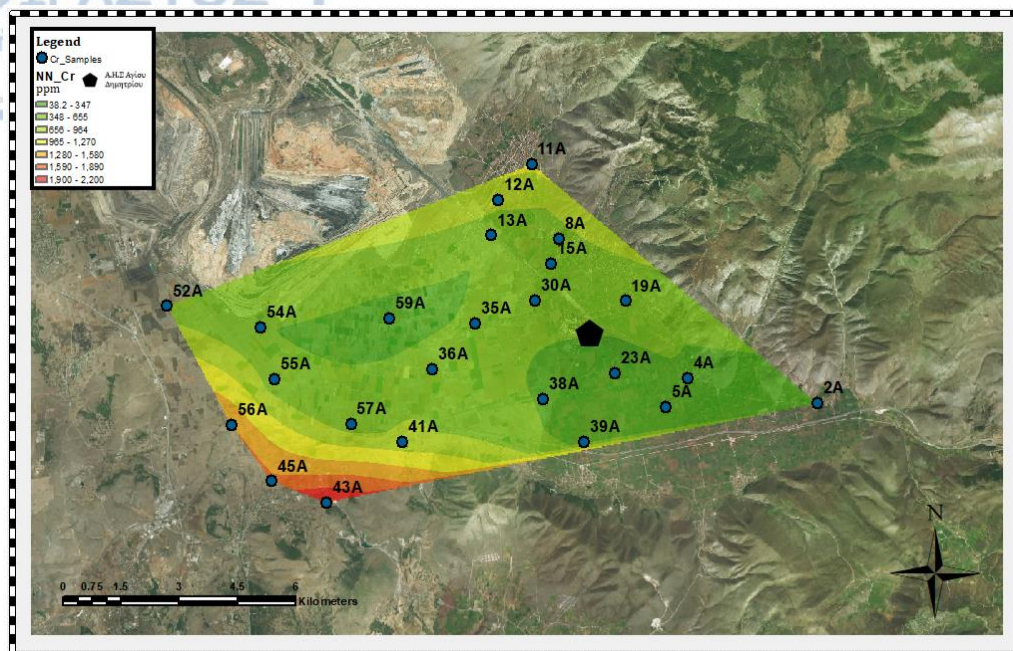
Εικόνα II.8: Γεωχημική κατανομή του Sr στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



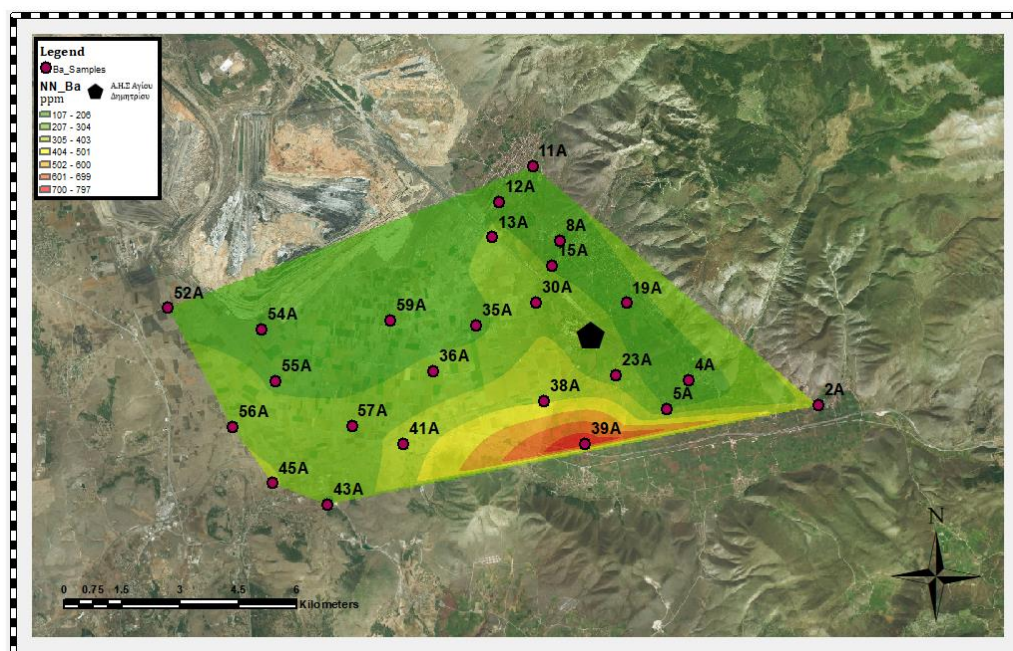
Εικόνα II.9: Γεωχημική κατανομή του Ni στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



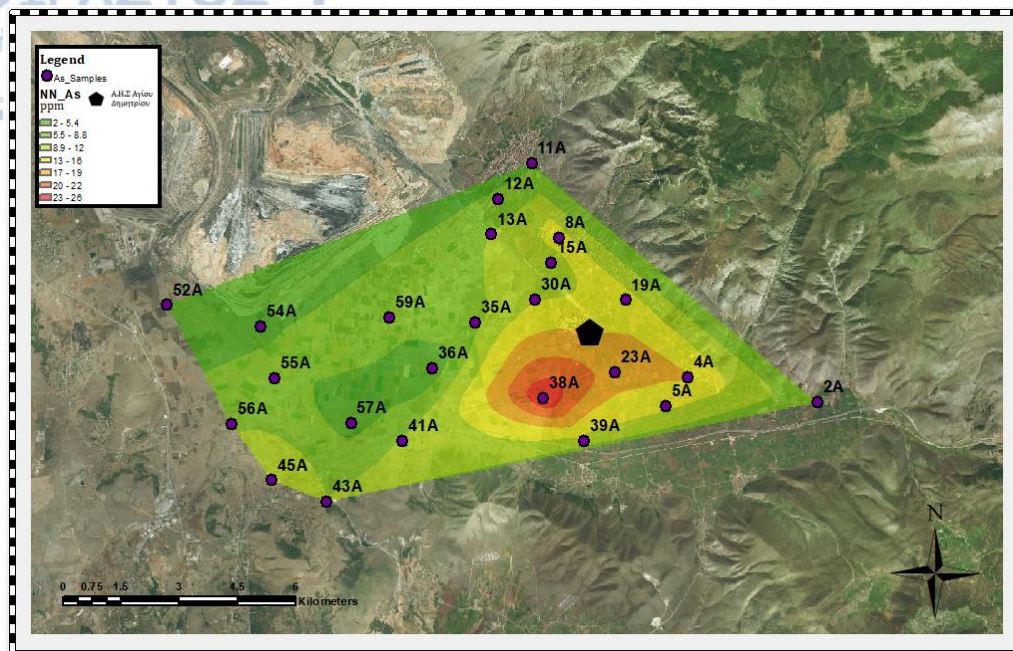
Εικόνα II.10: Γεωχημική κατανομή του Cu στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



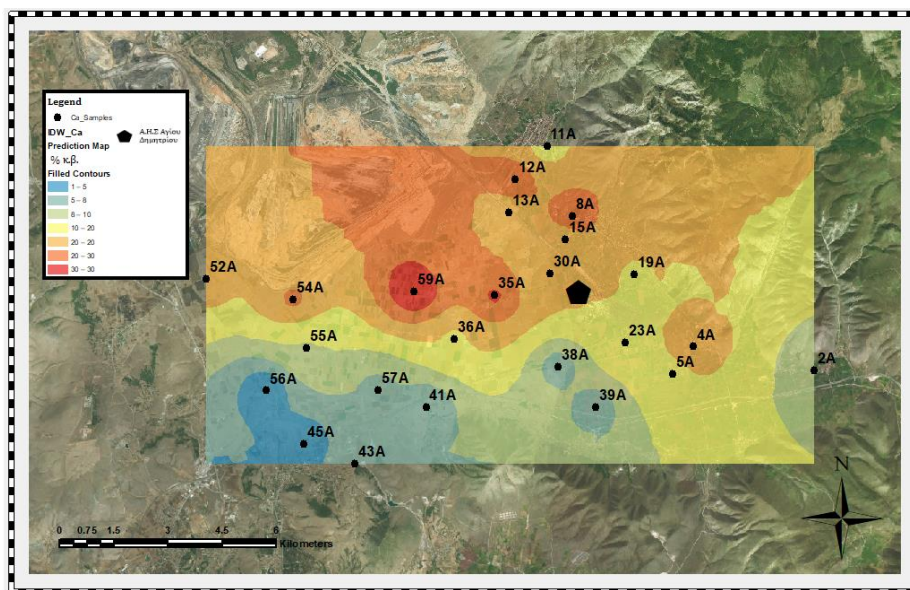
Εικόνα Π.11: Γεωχημική κατανομή του Cr στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



Εικόνα Π.12: Γεωχημική κατανομή του Ba στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.

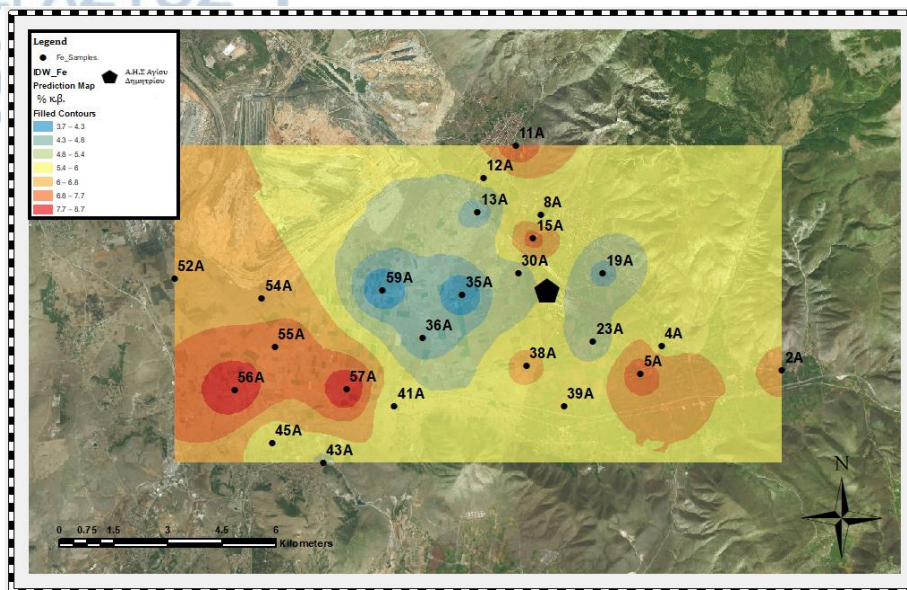


Εικόνα II.13: Γεωχημική κατανομή του As στην λεκάνη Σαριγκιόλ, με την μέθοδο Natural Neighbor.



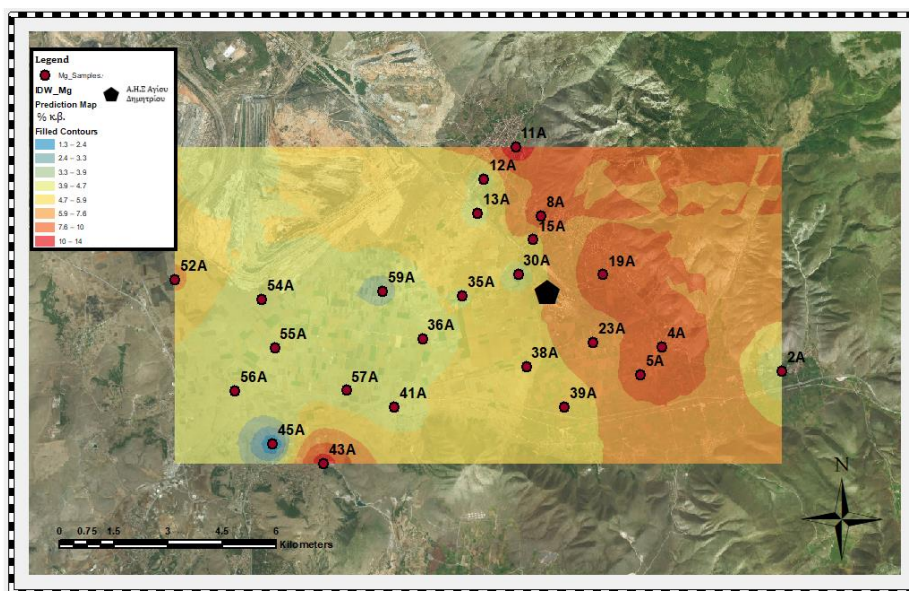
Εικόνα II.14: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του CaO στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο Inverse Distance Weighted. Παρουσιάζει σχετικά υψηλά σφάλματα, είναι μέτριας αξιοπιστίας.

Πίνακας I.1: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του CaO.							
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
2	Standard	20	5	One	0°	0.2	6.6



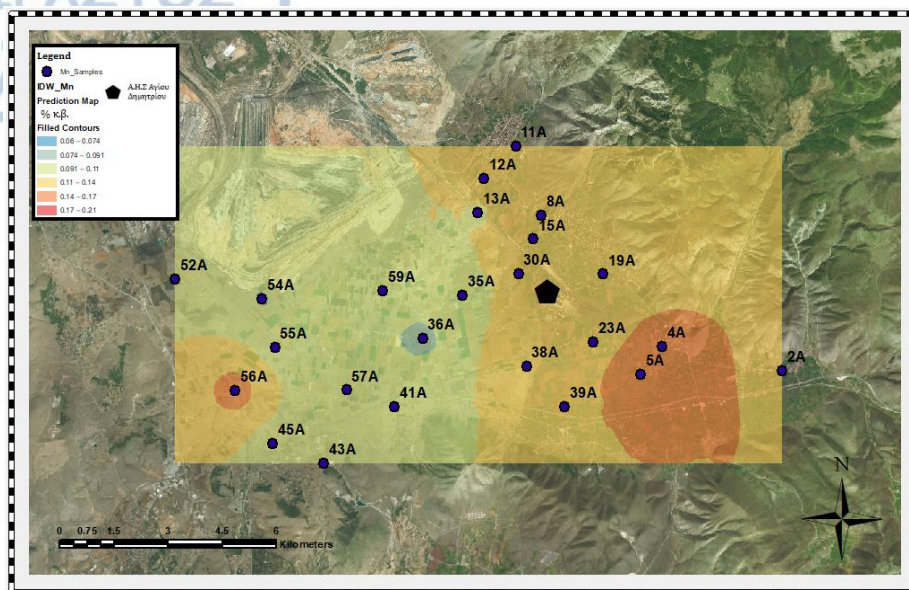
Εικόνα II.15: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του Fe_2O_{3t} στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο Inverse Distance Weighted. Παρουσιάζει μικρά σφάλματα, είναι καλής αξιοπιστίας.

Πίνακας II.2: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του Fe_2O_{3t}							
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
2	Standard	20	15	Full	0°	0.01	1.4



Εικόνα II.16: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του MgO στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο Inverse Distance Weighted. Παρουσιάζει σχετικά χαμηλά σφάλματα, είναι μέτριας προς καλής αξιοπιστίας.

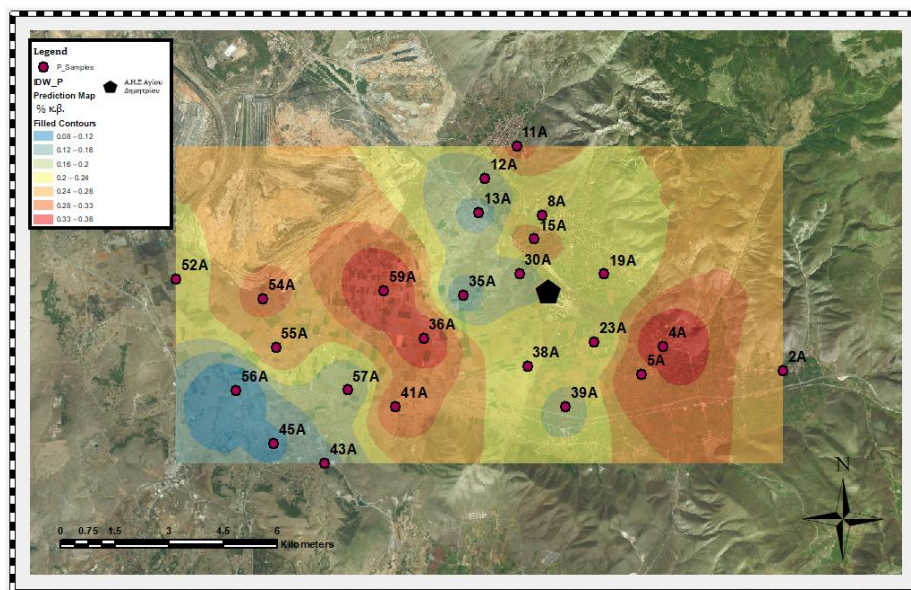
Πίνακας II.3: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του MgO							
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
1.5	Standard	15	5	Eight	0°	-0.1	3.6



Εικόνα II.17: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του MnO στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο Inverse Distance Weighted. Παρουσιάζει πολύ μικρά σφάλματα, είναι πολύ καλής αξιοπιστίας.

Πίνακας II.4: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του MnO.

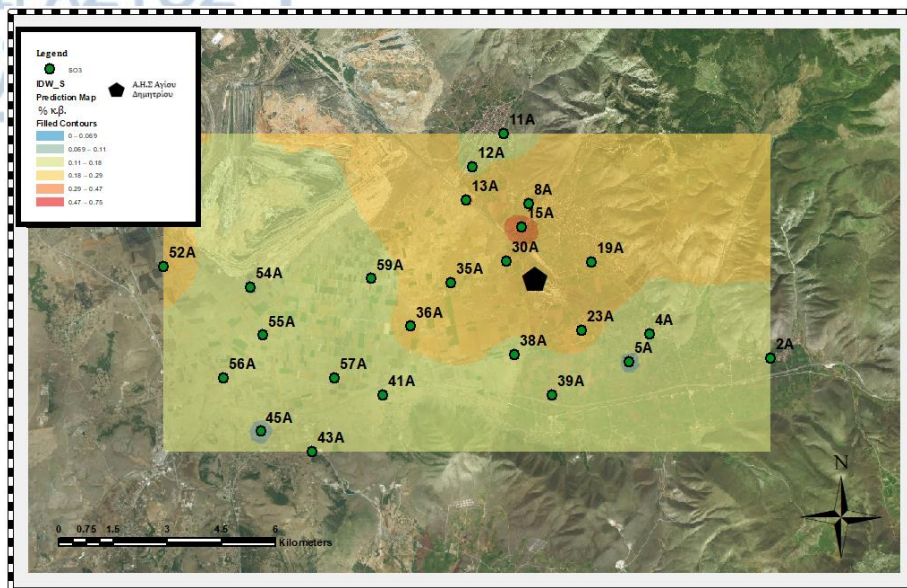
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
1	Standard	15	10	One	10°	-0.002	0.03



Εικόνα II.18: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του P₂O₅ στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο Inverse Distance Weighted. Παρουσιάζει πολύ μικρά σφάλματα, είναι πολύ καλής αξιοπιστίας.

Πίνακας II.5: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του P₂O₅.

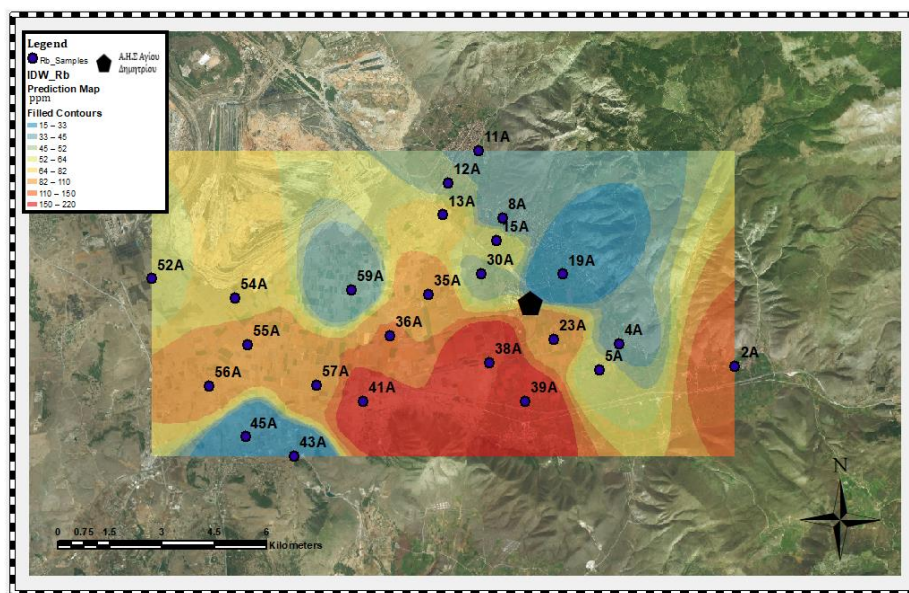
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
3	Standard	20	5	Four	10°	0.002	0.07



Εικόνα II.19: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του SO_3 στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο *Inverse Distance Weighted*. Παρουσιάζει μικρά σφάλματα, είναι υψηλής αξιοπιστίας.

Πίνακας II.6: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του SO_3 .

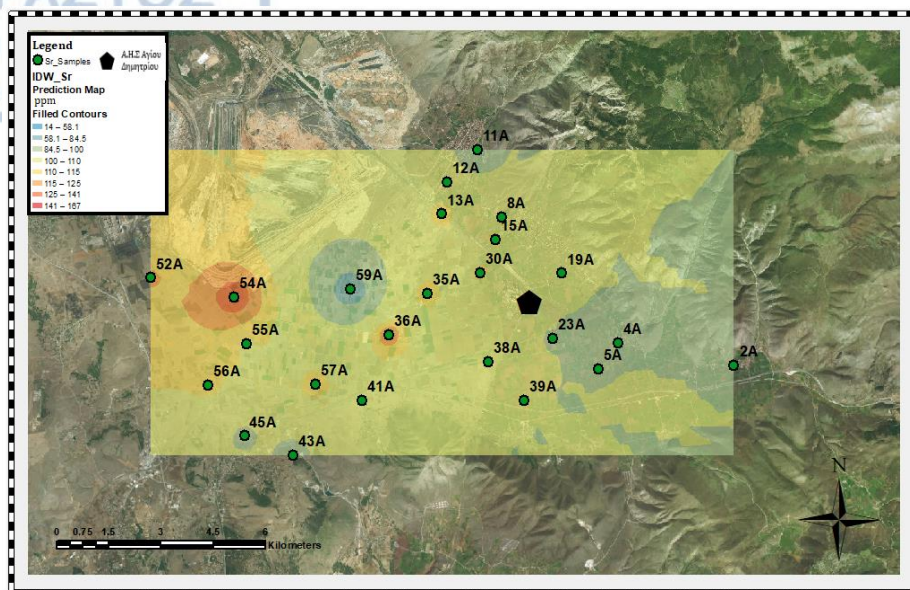
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
1	Standard	20	15	Four	20°	0.008	0.16



Εικόνα II.20: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του Rb στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο *Inverse Distance Weighted*. Παρουσιάζει πολύ υψηλά σφάλματα, είναι πολύ χαμηλής αξιοπιστίας.

Πίνακας II.7: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του Rb.

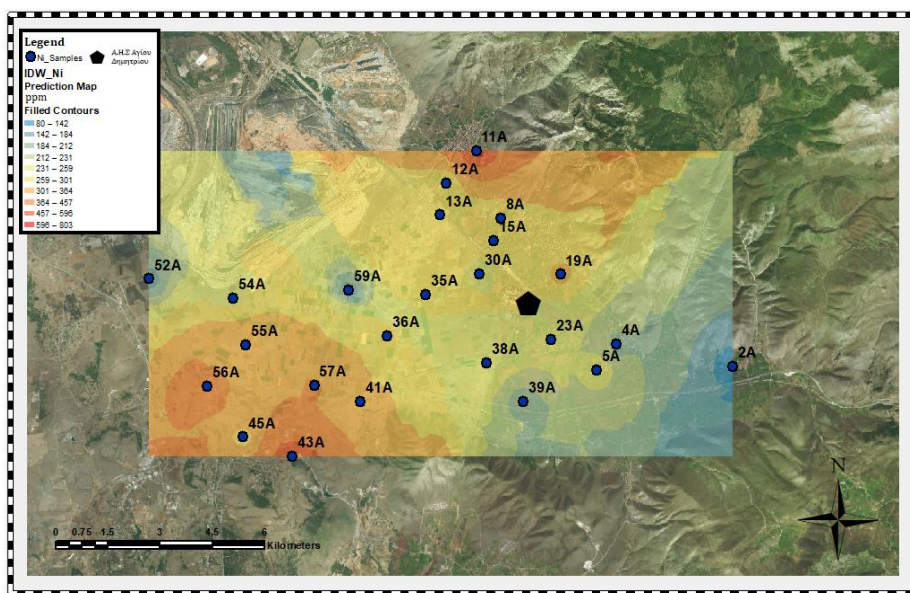
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
6	Standard	15	10	One	25°	-0.8	36



Εικόνα II.21: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του Sr στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο Inverse Distance Weighted. Παρουσιάζει πολύ υψηλά σφάλματα, είναι πολύ χαμηλής αξιοπιστίας.

Πίνακας II.8: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του Sr.

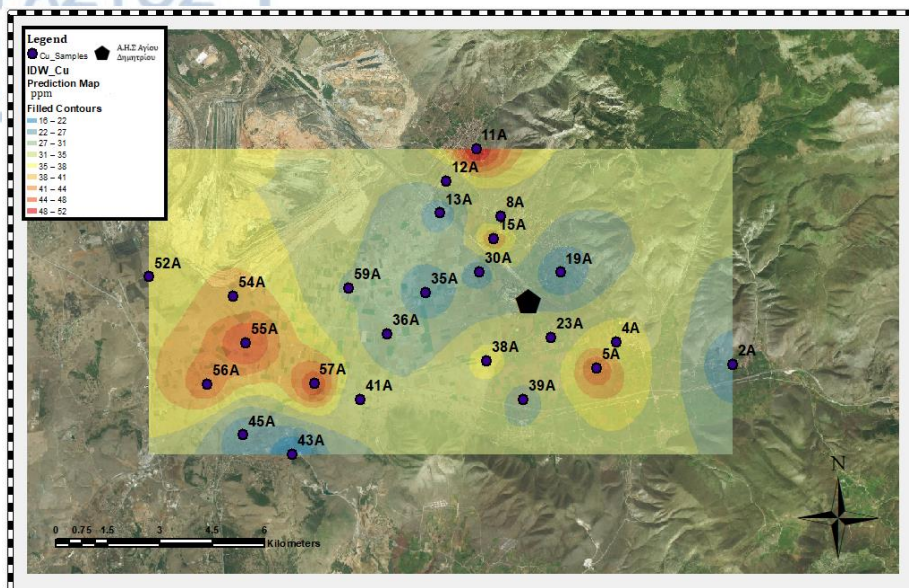
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
1	Standard	15	10	Four	15°	1.3	28



Εικόνα II.22: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του Ni στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο Inverse Distance Weighted. Παρουσιάζει πάρα πολύ υψηλά σφάλματα, είναι μηδενικής αξιοπιστίας.

Πίνακας II.9: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του Ni.

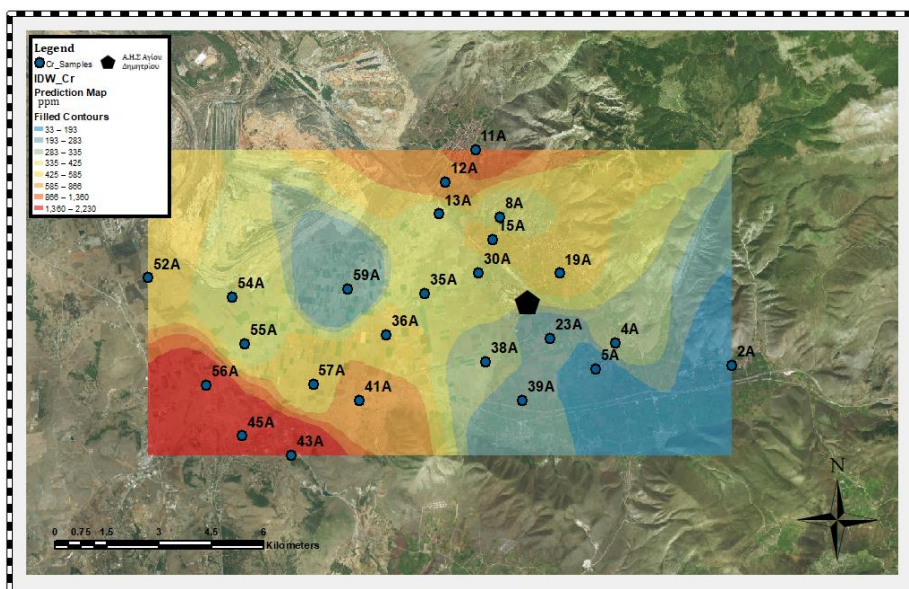
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
1	Standard	20	5	One	0°	0.5	171



Εικόνα II.23: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του Cu στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο Inverse Distance Weighted. Παρουσιάζει σχετικά υψηλά σφάλματα, είναι μέτριας προς χαμηλής αξιοπιστίας.

Πίνακας II.10: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του Cu.

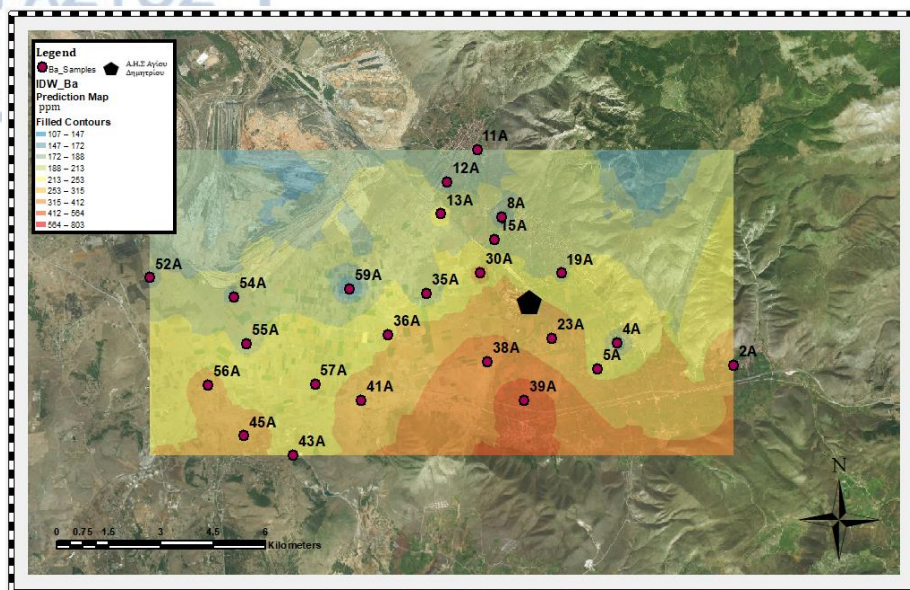
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
2	Standard	15	10	Four	10°	0.6	9.7



Εικόνα II.24: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του Cr στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο Inverse Distance Weighted. Παρουσιάζει πάρα πολύ υψηλά σφάλματα, είναι μηδενικής αξιοπιστίας.

Πίνακας II.11: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του Cr.

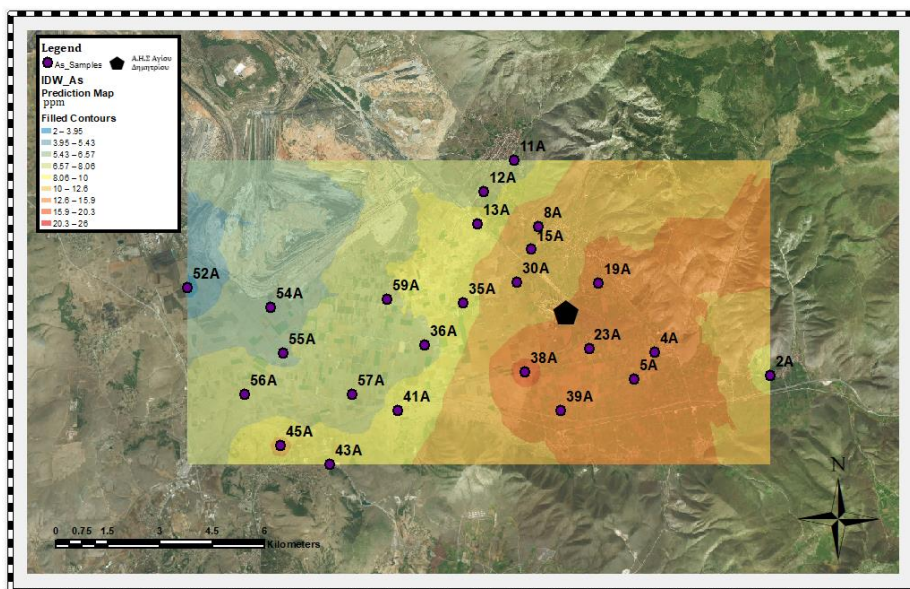
Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
6	Standard	15	5	One	10°	-30	299



Εικόνα II.25: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του Ba στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο Inverse Distance Weighted. Παρουσιάζει πολύ υψηλά σφάλματα, είναι πολύ χαμηλής αξιοπιστίας.

Πίνακας II.12: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του Ba.

Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
1	Standard	10	5	One	10°	-1.3	135



Εικόνα II.26: Μοντέλο πρόβλεψης για την κατανομή του As στην λεκάνη Σαριγκιόλ με την μέθοδο Inverse Distance Weighted. Παρουσιάζει σχετικά υψηλά σφάλματα, είναι μέτριας αξιοπιστίας.

Πίνακας II.13: Παράμετροι και σφάλματα για το IDW του As.

Power	Searching Neighborhood	Neighbors to include	Minimum Neighbors	Sector Type	Angle	ME	RMSE
1	Standard	15	5	Four	30°	0.2	4.7